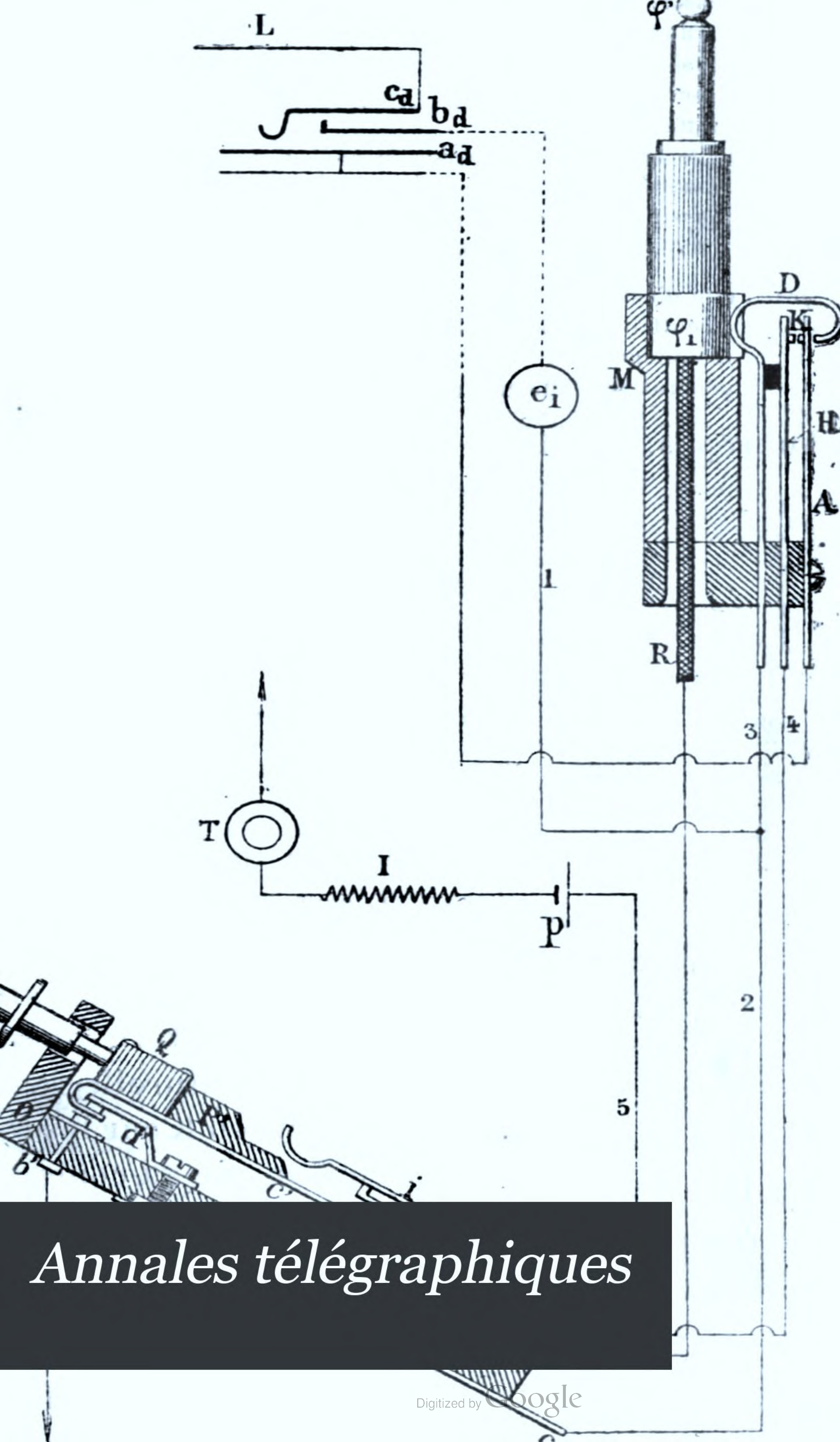




L
c_d
b_d
a_d
φ'
D
K
$φ_1$
M
e_1
H
A
1
R
3
4
T
I
P
2
5
Q
Annales télégraphiques




Annales

ANNALES
TÉLÉGRAPHIQUES

TROISIÈME SÉRIE

TOME DIX-HUITIÈME

PARIS

V^VE CH. DUNOD, ÉDITEUR

LIBRAIRE DES CORPS NATIONAUX DES PONTS ET CHAUSSÉES, DES MINES
ET DES TÉLÉGRAPHES

Quai des Augustins, 49

1891

ANNALES

TÉLÉGRAPHIQUES

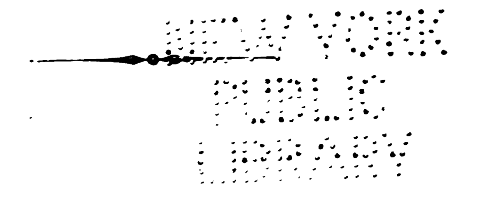
PARIS. — IMP. C. MARPON ET E. FLAMMARION, RUE RACINE, 26.

ANNALES
TÉLÉGRAPHIQUES

TROISIÈME SÉRIE

TOME XVIII

Année 1891



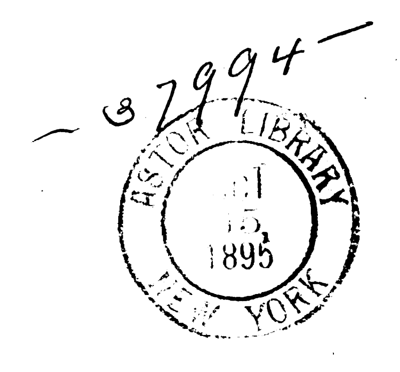
PARIS

Vve Ch. DUNOD, ÉDITEUR

LIBRAIRE DES CORPS DES PONTS ET CHAUSSÉES, DES MINES
ET DES TÉLÉGRAPHES

Quai des Augustins, 49

1891


~ 82994 ~
ASTOR LIBRARY
1895
NEW YORK

ANNALES
TÉLÉGRAPHIQUES

Année 1891 **Janvier-Février**

ÉTUDE SUR LA GUTTA-PERCHA

La gutta-percha a été étudiée dès son apparition en Europe par les physiciens et les chimistes, qui ont reconnu ses qualités précieuses et les diverses applications qu'elle pourrait recevoir dans l'industrie, applications dont la plus importante est dans la fabrication des câbles télégraphiques, les uns sous-marins, les autres souterrains. Mais telle qu'on la trouve et qu'on l'emploie, elle est unie à d'autres matières, et je ne crois pas qu'on ait rien publié concernant l'influence que celles-ci exercent sur sa propriété d'isolant électrique. Le but de cette note est de combler cette lacune. J'ai fait sur ce sujet de nombreuses expériences, mais comme elles ont porté seulement sur les guttas-perchas que j'ai rencontrées dans les vérifications de câbles et qui souvent différaient les unes des autres par tous leurs éléments à la fois, il était difficile de déterminer le rôle de chacun d'eux. Un petit nombre d'entre elles seulement ont donné lieu à des conclusions assez certaines que j'expose. Plus que personne je connais

les imperfections de ce travail, mais comme il serait long à refaire, mon temps et celui de mes collaborateurs étant pris par le service ordinaire, je crois utile de le publier tel qu'il est, sauf à faire connaître plus tard, s'il y avait lieu, les résultats que pourront donner des expériences nouvelles.

I.

Les caractères physiques et chimiques de la gutta-percha sont les suivants :

Elle se compose de gutta pure dont la formule est $C^{20}H^{32}$ et de deux espèces de résine : la fluavile, représentée par $C^{20}H^{32}O$ et l'albane, représentée par $C^{20}H^{32}O^{2}$.

Sa couleur varie depuis le blanc jusqu'au brun. La structure est plus ou moins fibreuse, suivant qu'elle contient plus ou moins de gutta pure et pour les praticiens l'examen de l'état fibreux donne des indices précieux sur la qualité de la gutta-percha : plus elle est nerveuse, meilleure elle est.

La densité apparente est inférieure à celle de l'eau, parce qu'elle a des pores garnis d'air; en réalité elle pèse plus que l'eau. A la température ordinaire la gutta-percha est solide, peu souple, un peu élastique. Entre 25 et 50 degrés, sa souplesse augmente. A 50 degrés elle peut être laminée. A 120 degrés elle devient liquide. Au-dessus de 120 degrés elle commence à se décomposer; à 130 degrés elle distille en donnant naissance à des produits identiques à ceux que produit la distillation du caoutchouc.

En la chauffant entre 100 et 110 degrés dans un courant de gaz neutre, tel que l'azote ou l'acide carbonique, on fait évaporer toute l'eau qu'elle contient, ce

qui permet d'obtenir cette quantité d'eau par une différence de poids.

La gutta-percha se dissout complètement dans le bisulfure de carbone, le chloroforme. Les résines qu'elle contient se dissolvent dans l'éther, dans l'alcool absolu, mais la gutta pure est insoluble dans ces deux substances, de là un moyen de la séparer de ces résines.

Pour effectuer cette séparation, on traite d'ordinaire la gutta-percha par l'alcool absolu chaud, parce que l'albane ne s'y dissout que lorsqu'il est bouillant; la fluavile s'y dissout quand il est bouillant et aussi à peu près quand il est froid; de là un moyen de séparer approximativement ces deux résines l'une de l'autre.

La gutta-percha se dissout aussi partiellement dans l'essence de térébenthine, les huiles de schiste, l'huile d'olive, la benzine, etc.

II.

L'analyse chimique que j'ai fait faire de la gutta-percha a eu pour but, non pas de la décomposer en ses éléments simples, autrement dit analyse immédiate, mais en gutta pure, résines et eau, séparations qui ont été faites, celle de l'eau en chauffant la gutta-percha à 110 degrés dans un courant d'acide carbonique, celle des résines en traitant la gutta-percha par l'alcool absolu bouillant. Outre l'eau et les résines, il y a dans la gutta-percha des substances minérales, mais en si petites quantités par rapport aux autres dans celles que j'ai étudiées (1/2 p. 100 environ) qu'il m'a paru inutile d'en tenir compte. J'ai groupé, ci-après, deux par deux, les résultats obtenus sur des espèces de gutta-percha provenant, dans chaque série, de la même

usine, ayant à peu près la même quantité d'eau et servant de diélectrique à des âmes de câbles identiques, de sorte que l'on ne doit comparer ensemble que les deux de chaque série.

Série A.

1. Eau	2,5			
Résines	44,0	Isolement (*)	1.600^{Ω}	
Gutta pure	53,5	Capacité	$0^{?},180$	
2. Eau	3,1			
Résines	35,9	Isolement	500^{Ω}	
Gutta pure	61,0	Capacité	$0^{?},190$	

Série B.

3. Eau	3,1		
Résines	35,4	Isolement	800^{Ω}
Gutta pure	61,5	Capacité	$0^{?},180$
4. Eau	3,1		
Résines	38,3	Isolement	1.400^{Ω}
Gutta pure	58,6	Capacité	$0^{?},169$

Série C.

5. Eau	6,1		
Résines	35,1	Isolement	1.000^{Ω}
Gutta pure	58,8	Capacité	$0^{?},190$
6. Eau	6,0		
Résines	31,7	Isolement	600^{Ω}
Gutta pure	62,3	Capacité	$0^{?},195$

Ces résultats montrent que plus la gutta-percha contient de gutta pure, et moins de résines, c'est-à-dire que meilleure elle est, moins elle isole, tout en ayant des isolements convenables. De ce fait résulte la conséquence pratique que, lorsqu'on achète des câbles isolés par la gutta-percha, il est prudent d'imposer un maximum, en même temps qu'un minimum à l'isolement kilométrique de l'âme de ce câble.

(*) L'isolement et la capacité, dont il est question ici et dans la suite de ce travail, sauf quand le contraire est indiqué, sont l'isolement et la capacité du fil recouvert de gutta-percha, mesurés après vingt-quatre heures d'immersion dans l'eau à 24 degrés, et en faisant usage d'une pile dont la force électromotrice était de 100 volts.

III.

L'influence de la quantité d'eau qui existe dans la gutta-percha paraît être, *a priori*, de diminuer le pouvoir isolant de cette substance. Ce fait a été vérifié par les expériences faites sur des guttas-perchas qui, dans chaque série, recouvraient des câbles semblables, mais les exemples sont rares, n'ayant trouvé que peu de gutta-percha ayant des quantités d'eau différentes et à peu près la même proportion de résines et de gutta pure, et je ne crois devoir citer que les deux séries d'essais suivants, dans lesquels on ne doit comparer ensemble que les échantillons de la même série.

Série D.

1.	Eau	6,1	Isolement.	1.000^{Ω}
	Résines	35,1	capacité.	$0^{f},190$
	Gutta pure.	58,8		
2.	Eau	1,1	Isolement.	1.300^{Ω}
	Résines	38,2	Capacité.	$0^{f},180$
	Gutta pure.	60,7		

Série E.

3.	Eau	6,5	Isolement.	1.050^{Ω}
	Résines	35,1	Capacité.	$0^{f},190$
	Gutta pure.	58,4		
4.	Eau	5,4	Isolement.	1.400^{Ω}
	Résines	32,8	Capacité.	$0^{f},210$
	Gutta pure.	61,8		

Les rapports des quantités de gutta pure aux quantités de résine sont égaux à :

1,67	pour l'échantillon	n° 1
1,60	—	n° 2
1,66	—	n° 3
1,88	—	n° 4

Les deux premiers devraient, d'après ce qui a été vu, avoir des isolements très peu différents, s'ils avaient les mêmes quantités d'eau, mais la première a

un isolement inférieur à celui de l'autre parce que la gutta-percha contient plus d'eau.

L'échantillon n° 4 devrait avoir un isolement inférieur à celui du n° 3; il lui est supérieur parce qu'il contient moins d'eau.

L'eau que contient la gutta-percha diminue donc son isolement et tend à la faire passer pour meilleure qu'elle n'est. Elle me paraît aussi faciliter la transformation de la gutta-percha en résines, ainsi que le montre l'expérience suivante :

J'ai fait établir deux échantillons de gutta-percha en plaques, ayant sensiblement la même composition en résines et en gutta pure, mais l'un ayant plus d'eau que l'autre. J'ai coupé chaque échantillon en deux morceaux dont l'un a été placé dans l'eau, l'autre dans l'air et de temps à autre ai fait faire l'analyse de chacun d'eux, en prenant les couches de la surface. Les résultats obtenus sont indiqués dans le tableau suivant :

	COMPOSITION initiale	RAPPORT de la gutta pure aux résines	COMPOSITION APRÈS 2 MOIS — DANS L'AIR		COMPOSITION APRÈS 2 MOIS — DANS L'EAU	
				Rapport de la gutta aux résines		Rapport de la gutta aux résines
Échantillon n° 1.						
Eau	3,1	2,23	1,0	2,0	4,0	2,02
Résines	30,0		32,5		31,8	
Gutta pure	66,9		66,5		64,2	
Échantillon n° 2.						
Eau	9,1	2,31	4,0	1,8	10,0	1,6
Résines	27,5		34,5		36,5	
Gutta pure	63,5		61,5		53,5	

On voit qu'à l'origine les échantillons ne diffèrent guère que par les quantités d'eau. Ceux qui sont dans l'air perdent avec le temps de l'eau et de la gutta pure, pour augmenter la quantité de résines. Pour ceux qui sont dans l'eau, ils absorbent un peu de celle-ci et le rapport de la quantité de gutta pure à la quantité de résines diminue aussi.

Cette diminution est, ainsi que pour ceux dans l'air, plus grande pour la gutta-percha n° 2 qui contient plus d'eau. L'eau dans la gutta-percha favorise donc sa décomposition et est nuisible. Pour ces deux motifs, on devrait limiter la quantité d'eau que doit contenir la gutta-percha qui sert à l'isolement d'un câble. L'expérience montre qu'il est facile dans la pratique d'obtenir des guttas-perchas ne contenant pas plus de 5 p. 100 d'eau, et cette proportion me semble être la limite supérieure à adopter.

IV.

Dans ce qui précède, on a vu les modifications apportées par le temps à la gutta-percha conservée soit dans l'eau, soit dans l'air. J'ai fait d'autres essais à ce sujet et ai étudié en même temps les variations de ses propriétés isolantes. A cet effet, un toron de fils de cuivre recouvert de gutta-percha d'une longueur de 1.000 mètres environ, et destiné à la confection d'un câble téléphonique a été, aussitôt fabriqué, expérimenté au point de vue de l'isolement, après vingt-quatre heures d'immersion dans l'eau à 24 degrés en même temps qu'on faisait l'analyse d'un échantillon de la gutta-percha pris au bout de ce fil. Celui-ci a été retiré de l'eau, placé dans un lieu sec et son isolement a été de

nouveau mesuré un mois plus tard, après avoir séjourné vingt-quatre heures dans l'eau à 24 degrés; on faisait en même temps l'analyse d'un nouvel échantillon de la gutta-percha prise à l'extrémité du fil. Celui-ci était de nouveau placé dans un lieu sec et les mêmes opérations recommencées un mois après, on a ainsi obtenu les résultats suivants :

	25 AVRIL 1890	27 MAI 1890	26 JUIN 1890
Isolement	384^{Ω}	491^{Ω}	502^{Ω}
Capacité	$0^{mf},161$	$0^{mf},161$	$0^{mf},161$
Eau	4,2	2,4	1,8
Résines	29,8	33,4	34,1
Gutta pure	66,0	64,2	64,1

Ces résultats confirment ce qui a été dit précédemment :

1° Au sujet de l'augmentation de l'isolement avec la diminution de la quantité de gutta pure et de la quantité d'eau;

2° Au sujet de ce fait que exposée à l'air la gutta-percha se résinifie et d'autant plus que la quantité d'eau qu'elle contient est plus grande. Celle-ci diminue, d'ailleurs, avec le temps ; l'augmentation de la quantité de résine est égale à la somme des diminutions des quantités d'eau et de gutta pure.

Le fil de câble qui a servi à ces expériences avait une couche très mince de diélectrique. Avec un fil dont la couche de gutta-percha serait plus épaisse, les mêmes changements se produiraient ; mais moins rapidement, les couches intérieures n'étant attaquées qu'après les autres.

En 1884, j'ai fait sur quatre longueurs d'âme de câble de 1.000 mètres chacune, fabriquées dans la même usine, et ne différant entre elles que par la qualité de la gutta-percha des expériences dont je n'ai pas tenu grand compte, n'ayant pas alors fait d'analyses de gutta-percha. Aujourd'hui, ils complètent ceux qui précèdent. Pendant six mois qu'ont duré ces essais, ces fils isolés ont été conservés dans la même bâche pleine d'eau et dont on pouvait faire varier la température entre 0 et 100 degrés. On mesurait de temps à autre l'isolement et la capacité de ces âmes à des températures diverses. Lors de chaque essai, la température de chaque âme était déterminée chaque fois d'après les variations de résistance de son conducteur en cuivre.

Comme la différence des températures de ces fils n'atteignait jamais 0°,2. J'ai trouvé suffisant de mettre pour chaque série d'essais une température unique, la même pour tous et qui était leur moyenne. Le tableau suivant contient les résultats les plus importants :

NUMÉROS d'ordre des séries	DATES des expériences	TEMPÉRA-TURE	ISOLEMENTS KILOMÉTRIQUES DES CABLES EN MÉGOHMS				OBSERVATIONS
			Fils n° 1	Fils n° 2	Fils n° 3	Fils n° 4	
	1884						
1	15 février.	14°,55	611	2.612	7 983	55.739	Dans tous ces es-
2	19 —	11°,5	1.142	4.855	15.483	114.576	sais les capacités
3	22 —	20°,8	315	1.276	3.811	36.390	électriques de ces
4	28 —	10°,65	1.500	6.049	22.503	187.529	âmes ont varié dans
5	29 —	23°,60	209	756	2.322	·28.183	les limites suivan-
6	5 mars.	11°,8	1.560	6.711	20.129	104 000	tes :
7	6 —	27°,8	103,8	392,8	1.057	11.401	
8	26 —	12°,7	1.148	4.852	14.920	59 680	N° 1
9	27 —	27°,44	117	413	1.222	13.968	de 0?,179 à 0?,193
10	3 avril.	34°,45	40	113	382	4.580	N° 2
11	11 —	38°,7	22	62,5	188	2.383	de 0?,187 à 0?,196
12	30 —	14°,95	770	4.326	15.597	35.298	N° 3
13	17 juillet.	34°,93	59	219	981	5.738	de 0?,191 à 0?,197
14	25 —	21°,07	397	2.066	10.200	29.845	N° 4
15	31 —	38°,22	39	123	609	3.171	de 0?,203 à 0?,213

De ce qui a été vu précédemment, on peut conclure que ces âmes sont rangées par ordre de valeur des guttas qui leur servent de diélectrique et que celle du fil n° 4 contient beaucoup plus de résines que chacune des trois autres. Si on compare les résultats des expériences faites à des époques différentes, mais à la même température, à peu de choses près, tels que ceux de la série 24 avec ceux de la série 6, ceux de la série 3 avec ceux de la série 14, ceux de la série 10 avec ceux de la série 13, ceux de la série 11 avec ceux de la série 15, on a, si on prend pour chaque âme le rapport de l'isolement de la série la plus récente à l'autre les résultats suivants :

SÉRIES	RAPPORTS DES ISOLEMENTS QUAND LE TEMPS AUGMENTE			
	Fil n° 1	Fil n° 2	Fil n° 3	Fil n° 4
24 et 6	1,36	1,57	1,30	0,90
3 et 14	1,26	1,62	2,90	0,80
10 et 13	1,47	1,94	2,56	1,25
11 et 15	1,82	2,00	3,26	1,30

On voit que ces guttas-perchas se comportent d'une manière très différente :

1° Les isolements des trois premières augmentent toujours avec le temps, ainsi que cela a été constaté pour les guttas conservées dans de l'eau, mais les proportions de cette augmentation ne sont pas les mêmes pour toutes ;

2° Il en est tout autrement pour la 4ᵉ; son isolement diminue avec le temps, sauf pour les hautes températures de 34° et 38°, où il augmente, mais moins que ceux des trois autres. Ce fait tend à prouver que toute gutta-percha dont l'isolement diminue avec le temps à

la température ordinaire dans l'eau est de mauvaise qualité.

De ces variations d'isolement de la gutta-percha avec le temps il résulte que lorsqu'on vérifie un câble ou un fil recouvert de ce diélectrique, et dont l'isolement doit être compris dans des limites données, la mesure de cet isolement doit être faite non pas à une époque quelconque, mais au bout d'un temps fixé, après la fabrication.

Si on compare entre eux les isolements de ces fils à des températures différentes mesurés à des époques très rapprochées, par exemple les isolements de la série 6 avec ceux de la série 7, ceux de la série 4 avec ceux de la série 5 et ceux des séries 8 et 9, et qu'on prenne dans chaque cas, pour chaque fil, le rapport de l'isolement correspondant à la température la plus basse à celui correspondant à la température plus élevée, on a les résultats compris dans le tableau suivant :

SÉRIES comparées	RAPPORTS DES ISOLEMENTS			
	Fil n° 1	Fil n° 2	Fil n° 3	Fil n° 4
4 et 5	7,18	8,0	9,7	4,53
6 et 7	15,14	17,1	19,0	9,1
8 et 9	9,81	11,7	12,2	4,2

Les nombres de ce tableau montrent que des guttas-perchas provenant de la même usine et, par suite, travaillées de la même manière ont des isolements qui varient avec la température dans des proportions différentes pour chaque espèce de gutta-percha.

La gutta-percha n° 4, de qualité inférieure, éprouve des variations beaucoup moins grandes que les trois

autres. Celle du n° 1, qui me paraît être la meilleure, a des variations inférieures aux deux autres.

V.

L'application des diverses conclusions énoncées dans tout ce qui précède, à la réception des câbles télégraphiques dont le diélectrique est de la gutta-percha, me paraît devoir modifier un peu les conditions imposées aujourd'hui pour ce genre de fournitures. Un bon câble doit être fait avec de la bonne gutta-percha et ne présenter aucun défaut de fabrication.

La qualité de la gutta-percha ne peut être déterminée que par l'analyse chimique; l'absence de défauts de fabrication doit l'être par les expériences électriques.

On devrait fixer à l'avance la valeur minimum du rapport de la quantité de gutta pure aux quantités de résines que devrait contenir la gutta-percha employée, ainsi que la quantité maximum d'eau qu'elle pourrait renfermer. On ferait l'analyse du diélectrique recouvrant chaque bout d'âme du câble, puis on soumettrait chacun d'eux aux essais électriques ordinaires pour s'assurer qu'il n'y a pas de défauts de fabrication. Toutefois, comme l'analyse de la gutta-percha est assez longue et que dans certains cas pressés elle pourrait être une gêne pour la fabrication, on pourrait alors se dispenser de la plupart de ces analyses en opérant ainsi qu'il suit :

Se contenter de voir par l'analyse si la gutta-percha des dix ou vingt premières longueurs d'âme de câble en fabrication a bien la composition voulue. On mesu-

rerait l'isolement et la capacité de chacune d'elles et on en déduirait l'isolement kilométrique moyen, ainsi que la capacité moyenne de ces âmes. On déterminerait les limites extrêmes dans lesquelles l'isolement et la capacité pourraient varier tant que la composition de la gutta-percha serait conforme aux exigences du cahier des charges et on admettrait comme bons tous les bouts d'âme dont l'isolement et la capacité seraient compris dans ces limites. Les analyses chimiques se trouveraient ainsi remplacées par les essais électriques ordinaires.

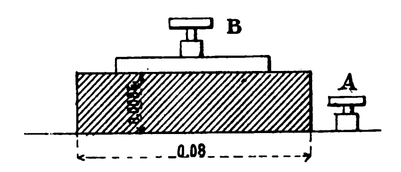
Les expériences que j'ai faites m'ont amené à considérer les guttas-perchas ayant tout au plus 1/2 p. 100 de matières minérales et 5 p. 100 d'eau comme assez bonnes quand elles contiennent au moins 50 p. 100 de gutta pure, comme bonnes quand elles en renferment au moins 60 p. 100 et comme très bonnes quand elles en ont au moins 65 p. 100.

VI.

Avant de terminer, il me paraît utile d'indiquer l'expérience que j'ai faite pour m'assurer des propriétés isolantes de la gutta pure, lesquelles sont contestées par quelques personnes.

Cette expérience très simple a consisté dans la comparaison des isolements de deux plaques de dimensions identiques, l'une en gutta-percha ordinaire, l'autre provenant de cette même gutta-percha préalablement traitée par l'alcool absolu chaud, jusqu'à ce qu'il n'eût plus d'action sur celle-ci, ce qui arrivait quand toutes les résines étaient dissoutes. Ces deux espèces de guttas étant à l'état pâteux on en remplissait jusqu'à la même

hauteur deux cylindres métalliques identiques dont les fonds étaient aussi en métal. Dans chacun d'eux le fond portait une borne A, et une borne B était fixée à un plateau métallique pesant d'un diamètre un peu



inférieur à celui du cylindre, de manière qu'étant posé sur la gutta du cylindre elle ne touchait pas les bords de celui-ci. On avait ainsi deux plaques identiques des deux espèces de gutta-percha ayant des communications pareilles avec les bornes A et B des deux cylindres respectifs et dont on comparait les propriétés isolantes à l'aide d'une pile Callaud de 200 éléments et d'un galvanomètre à miroir de Thomson. J'ai trouvé que l'isolement de la gutta pure était les 3/4 de celui de la gutta avec ses résines. L'isolement absolu de la plaque en gutta-percha ordinaire était de 34.600$^{\Omega}$ et celui de la plaque en gutta pure de 26.000$^{\Omega}$.

Leurs capacités électriques étaient respectivement égales à 0$^{\varphi}$,0001 et à 0$^{\varphi}$,000166 à peu près. Chacune de ces plaques avait 0^{m},08 de diamètre et 0^{m},0084 de hauteur.

LAGARDE.

PHÉNOMÈNES D'INDUCTION ÉLECTRO-MAGNÉTIQUE

DUS AUX COURANTS ALTERNATIFS

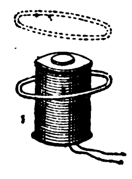
(Suite) (*).

---

9. Nous allons maintenant passer en revue les diverses expériences réalisées par le professeur Elihu Thomson.

Remarquons tout d'abord qu'il faut avoir soin de constituer le noyau de l'inducteur avec du fer bien divisé, tel qu'un faisceau de fils de fer vernis, afin d'éviter, autant que possible, les courants de Foucault qui s'y produiraient, absorberaient la majeure partie de l'énergie mise en jeu et qui, étant de même nature que les courants que l'on cherche à produire dans l'anneau ou les corps induits, compliqueraient le phénomène et atténueraient considérablement les effets que l'on veut mettre en évidence.

Dans la *fig.* 7, un anneau de cuivre embrasse la partie supérieure de l'électro-inducteur. Quand on fait passer le courant alternatif, l'anneau est brusquement rejeté à l'extérieur.


Fig. 7.

La *fig.* 8 représente un anneau en cuivre qui est retenu de bas en haut par quatre cordons. Lorsque le courant est

(*) Voir le numéro des *Annales télégraphiques* de novembre-décembre 1890, p. 481.

lancé dans la bobine, cet anneau est maintenu dans l'espace comme par une force invisible.

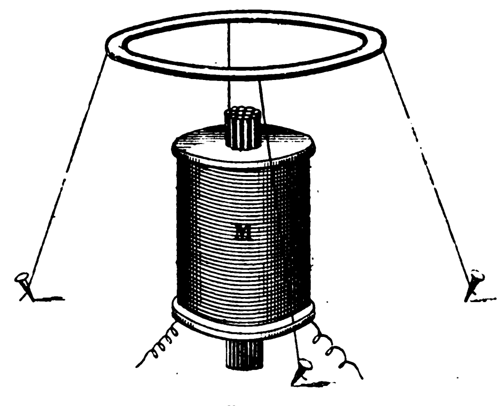


Fig. 8.

On peut évidemment remplacer les anneaux dont il vient d'être question par des disques ou des plateaux minces en cuivre, comme dans l'expérience représentée par la *fig.* 9, où un disque équilibré à l'un des bras d'un levier peut osciller sous l'influence des courants alternatifs de l'électro.

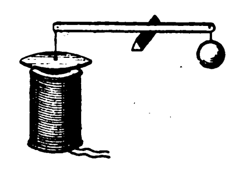


Fig. 9.

On peut encore, au lieu d'anneaux ou de disques, prendre des bobines plates, dont le fil sera fermé sur lui-même.

10. Tous les phénomènes de répulsion qui viennent d'être décrits, cessent de se manifester ou sont très affaiblis quand les disques sont fendus radialement ou bien quand les anneaux ou les bobines sont pris à circuit ouvert. Ce fait démontre bien la nature du phénomène.

Toutes choses égales, d'ailleurs, les métaux qu'il

convient le mieux d'employer lorsqu'on veut obtenir le plus grand effort statique, sont le cuivre et l'argent, parce qu'ils possèdent la plus grande conductibilité sous l'unité de volume; si, au contraire, on cherche à produire les effets les plus marqués de *mouvements* respectifs, on trouve que le métal le plus convenable est l'aluminium, parce qu'en effet, il présente la plus haute conductibilité sous l'unité de masse.

11. Voici plusieurs dispositions d'expérience, avec lesquelles le professeur E. Thomson a montré comment on peut utiliser ces phénomènes de répulsion pour produire des efforts de pression ou des effets de déplacement, et qui rappellent les dispositions d'électro-aimants ordinaires avec des armatures de diverses formes.

Dans la *fig.* 10, C est une bobine traversée par des courants alternatifs, B est un tube en cuivre entourant celle-ci, mais dissymétriquement placée par rapport à son centre. Le tube de cuivre B est entièrement massif et il est le siège de courants induits dans toute sa masse. Une force se manifeste qui tend à éloigner les deux corps l'un de l'autre dans une direction parallèle à leur axe. La partie B peut être remplacée par des tubes concentriques coulissés les uns sur les autres ou par une pile d'anneaux plats, ou par une bobine compacte de fil gros ou fin, isolé ou non, mais formant un circuit fermé. Si la bobine C, ou bobine primaire, est pourvue d'un noyau de fer divisé tel qu'un faisceau de fils de fer fins, les effets en seront considérablement renforcés et la répulsion obtenue avec un courant

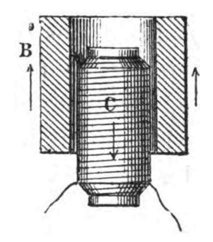


Fig. 10.

primaire intense peut produire une poussée de plusieurs kilogrammes.

Dans la *fig.* 11, la bobine C est extérieure, le tube ou circuit B est intérieur et entoure immédiatement le noyau de fils de fer. Comme précédemment, l'effort répulsif ne se manifestera qu'à la condition que les centres électriques des deux tubes ne soient pas en coïncidence. Pour les bobines ou tubes cylindriques, si le courant est uniformément réparti dans toutes les parties de la section du conducteur, ce qu'il faut entendre par *centre électrique* (ou *centre de gravité des ampères-tours* dans le cas des bobines), n'est autre que le plan normal à leur axe et passant par leur centre, tels que B et C que l'on voit indiqués en pointillés sur la *fig.* 12. Si ces plans centraux sont en coïncidence, on ne remarque pas d'effet de répulsion électro-dynamique, parce que cette répulsion est équilibrée dans toutes les directions.

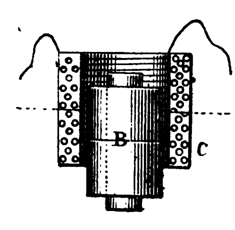


Fig. 11.

La *fig.* 12 montre la partie B intérieurement modelée en cône, tandis que C présente extérieurement une forme conique semblable avec un faisceau central de fils de fer. Dans les cas des *fig.* 10 et 11, l'action est analogue à celle d'un solénoïde ordinaire sur son noyau, à cette différence près qu'on a une répulsion au lieu d'une attraction; tandis que le cas de la *fig.* 12 est plutôt semblable à celui des solénoïdes enroulés en cônes sur des noyaux coniques. Naturellement il n'est pas indispensable que l'un

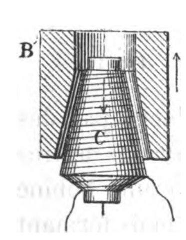


Fig. 12.

et l'autre soient coniques. L'effet d'une telle forme est simplement de modifier les degrés de l'action dans les diverses positions relatives des deux parties.

Une disposition rappelant celle d'un électro-aimant en fer-à-cheval et de son armature est représentée par la *fig.* 13. Les bobines C et C′ sont enroulées sur un faisceau de fils de fer recourbé en forme d'U, et, en regard des pôles se trouve une paire de disques épais de cuivre B et B′. Ceux-ci subissent une action répulsive qui dépend de plusieurs éléments et entre autres de la forme et de l'épaisseur de ces disques.

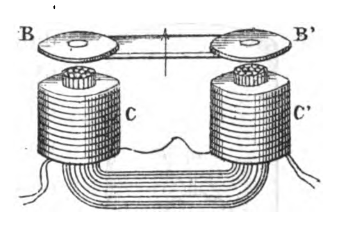


Fig. 13.

La *fig.* 14 représente une autre forme de noyau qui est celle d'un anneau présentant en un point une coupure. Sur cet anneau est enroulé un fil conducteur dans lequel on fait passer le courant alternatif. Si l'on cherche à insérer dans la coupure un plateau de cuivre, on éprouve une action contraire et assez énergique que l'on est obligé de surmonter pour arriver à placer le plateau de cuivre dans la coupure de l'anneau. C'est même avec cette disposition d'expérience que le professeur E. Thomson remarqua, paraît-il, pour la première fois, l'action répulsive des courants alternatifs sur un corps bon conducteur. Le plateau B tend à être rejeté en dehors de la coupure du noyau annulaire,

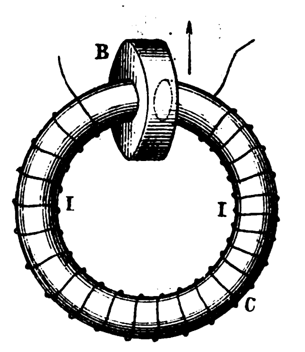


Fig. 14.

sauf dans le cas où son centre se trouve sur l'axe joignant les pôles du noyau entre lesquels il est placé.

Nous terminerons cette série de phénomènes par une des plus curieuses expériences du professeur E. Thomson.

Une lampe à incandescence est attachée aux deux extrémités du fil d'une bobine dans le circuit de laquelle son filament se trouve placé. La bobine et la lampe flottent dans un vase rempli d'eau (*fig.* 15), et l'ensemble est placé au-dessus du pôle d'un électro-aimant. Lorsque le champ magnétique est excité par un courant alternatif à grande fréquence, les courants induits dans la bobine sont mis en évidence par l'éclairement de la lampe, et les répulsions électro-dynamiques se manifestent par l'ascension de la bobine et de la lampe à travers l'eau.

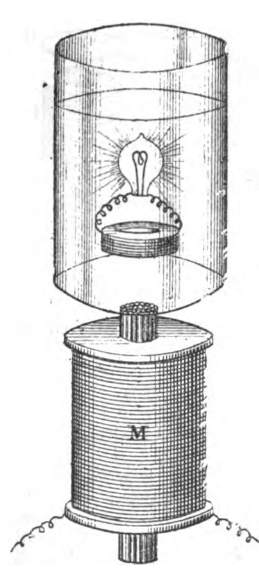


Fig. 15.

12. Tous les phénomènes, mis en évidence par les expériences précédentes, s'expliquent facilement, comme il a été dit ci-dessus, par l'action moyenne des deux courants inducteur et induit l'un sur l'autre. En réalité, ces effets sont dus, à proprement parler, à la répulsion réciproque des champs magnétiques de sens contraire et développés respectivement par les courants inducteur et induit. D'après ces considérations, un circuit fermé bon conducteur et représenté soit par un anneau, soit par un disque

ou plateau de cuivre, développera dans un champ magnétique alternatif certaines lignes de force qui lui seront propres et qui, à leur tour, réagiront sur les premières. Pour le montrer il suffit, dans l'expérience précédente, d'interposer un plateau de cuivre entre la lampe à incandescence et l'électro-aimant inducteur. La réaction du champ secondaire développé par les courants induits dans ce plateau affaiblira l'action du champ primaire sur la lampe à ce point que celle-ci cessera de briller, et la répulsion sur la bobine qui alimente la lampe devient notablement plus faible; comme si le champ alternatif se trouvait *masqué*, au moyen de ce plateau, par rapport au secondaire.

Un tel plateau ou disque joue donc en quelque sorte le rôle d'*écran magnétique*, au moins partiellement. Nous verrons plus loin l'usage que le professeur E. Thomson a fait de ces *écrans magnétiques* dans d'autres expériences.

De même nature est l'action réciproque de deux circuits fermés soumis, dans le voisinage l'un de l'autre, à l'action d'un champ magnétique alternatif. Ainsi, entre un anneau et un électro-aimant parcouru par un courant périodique, si l'on intercale un second anneau, ces deux circuits induits s'attireront ou sembleront s'attirer. On peut dire, en effet, que l'un et l'autre seront semblablement influencés par l'électro-aimant; les courants qui les parcourent auront entre eux une différence de phase plus petite qu'un quart de période et l'action réciproque résultante sera une attraction, conformément à la théorie que nous avons donnée ci-dessus. Ou bien, si l'on veut, l'un des deux jouera par rapport à l'autre le rôle d'écran magnétique; celui-ci sera partiellement soustrait à l'action de l'électro,

tandis que l'autre sera plus vigoureusement repoussé et marchera vers le premier, le mouvement relatif qui en résulte figurant une attraction réciproque.

Les actions de cette espèce ont été réunies par le professeur E. Thomson sous une première loi qu'il énonce ainsi :

Lorsque deux ou plusieurs circuits fermés sont induits de la même manière par un champ magnétique alternatif, ils s'attirent l'un l'autre et tendent à se placer parallèlement.

DÉVIATIONS.

13. Nous avons vu précédemment comment le champ magnétique développé par le courant induit réagissait sur le champ primaire, dont la valeur moyenne est de signe contraire à celle du champ induit. Mais nous n'avons cité que des cas dans lesquels les lignes de force de l'un et de l'autre étaient sensiblement parallèles.

Si, par exemple, les axes des conducteurs ne coïncident pas; mais sont au contraire déplacés l'un par rapport à l'autre, comme dans la *fig.* 16, alors, indépendamment d'une simple répulsion dans le sens de l'axe de l'inducteur, on observe une composante latérale indiquée sur la figure par des flèches et ainsi qu'il était facile de le prévoir.

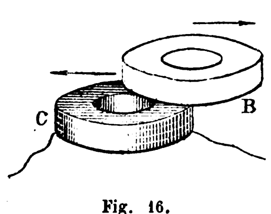


Fig. 16.

Analogue est l'expérience représentée par la *fig.* 17. Ici le conducteur fermé B est placé de telle sorte que son plan soit à angle droit avec celui de la bobine C

enroulée sur un faisceau de fils de fer. B tend à se mouvoir vers le centre de la bobine C de telle sorte

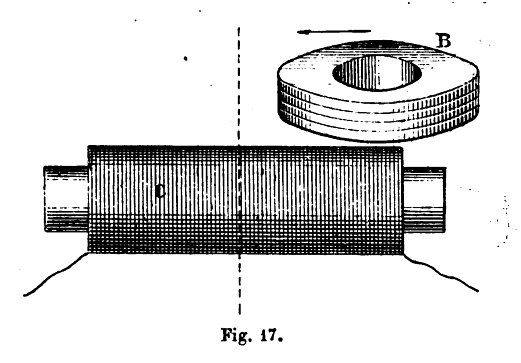


Fig. 17.

que son axe vienne se placer dans le plan médian de C indiqué par une ligne pointillée.

Ceci nous amène naturellement à une autre série de phénomènes, c'est-à-dire à des effets de déviation.

Lorsque l'un des conducteurs, tel que B (*fig.* 18),

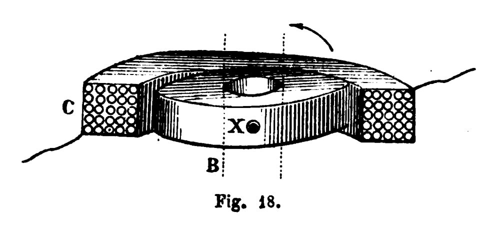


Fig. 18.

constitué au moyen d'un disque ou mieux d'une pile de disques minces, ou encore d'une bobine de fil à circuit fermé, est monté sur un axe X transversal à l'axe de la bobine C à travers laquelle circule le courant alternatif, B est devié et tend à prendre la position indiquée par des lignes pointillées ; à moins que le plan de B ne coïncide exactement au départ avec celui de C. Mais, s'il est tant soit peu incliné au départ sur celui-ci, une déviation se produira, comme il vient d'être dit. Il

n'importe nullement que la bobine C renferme la partie B de l'appareil ou qu'elle soit renfermée par celle-ci, ni que la bobine C soit montée sur pivots et B fixe ou que toutes les deux soient mobiles autour d'un axe.

Dans la *fig.* 19, la bobine C entoure un noyau de fils de fer et B est montée sur un axe horizontal au-dessus d'elle. On observe, comme précédemment, une déviation de B vers la position indiquée au moyen de lignes pointillées.

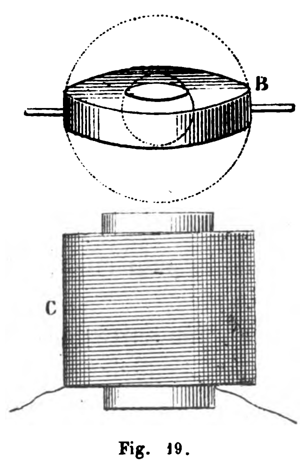


Fig. 19.

Il n'est pas sans importance de remarquer que, lorsqu'on cherchera à obtenir une déviation comme dans les deux dernières expériences, il vaudra mieux se servir d'une pile de minces rondelles ou d'une bobine de fil isolé et fermé sur lui-même que d'un anneau massif. On annulera ainsi les moindres effets qui pourraient provenir de courants induits dans l'anneau B dans d'autres directions que celles qui sont parallèles à sa circonférence.

A propos de ces effets de déviation, M. Fleming a rappelé qu'il avait déjà observé de son côté ces phénomènes au commencement de 1887, et qu'il avait décrit un galvanomètre pour courants alternatifs basé sur les mêmes principes (*). Cet instrument est composé essentiellement d'un petit disque de cuivre qui en constitue la partie mobile et qui est suspendu au cen-

(*) V. *The Electrician* du 6 mai 1887, ou la *Lumière électrique* du 21 mai de la même année.

tre d'une bobine parcourue par le courant à mesurer. La suspension porte un petit miroir, et la position initiale du disque est environ à 45 degrés du plan de la bobine inductrice. Il est facile de voir que les déviations sont, au moins d'une façon approximative, proportionnelles au carré de l'intensité du courant à mesurer comme dans le cas de l'électro-dynamomètre. Cet instrument rappelle d'une certaine façon l'électro-dynamomètre Giltay qui a été décrit dans les *Annales télégraphiques* (juillet-août 1885) par M. Vaschy.

ROTATIONS.

14. Nous avons vu comment un conducteur (disque, anneau, etc...) placé dans un champ magnétique alternatif pouvait être considéré soit comme *masquant* une partie du champ par rapport à un autre corps du voisinage, soit comme faisant *dévier* ou *dériver* certaines lignes de force, et modifiant ainsi leur action sur un autre conducteur ou sur le premier corps lui-même. Nous avons expliqué de la sorte les déviations angulaires subies par des corps sous l'influence de champs magnétiques ainsi altérés.

Il importe de remarquer, en outre, que non seulement les lignes de force du champ primitif peuvent, dans ces divers cas, être déviées de leurs directions premières; mais encore qu'elles peuvent se déplacer d'une façon continue dans l'espace et engendrer, par leurs déplacements, des courants induits dans les conducteurs qu'elles traversent, ou qu'elles *balayent*, si l'on peut s'exprimer ainsi. La réaction de ces courants induits sur les lignes de force mobiles produira, comme nous le verrons, les mouvements de rotation, dont nous

voulons parler et qui rentrent en somme dans la catégorie des phénomènes connus depuis longtemps sous le nom de *magnétisme de rotation* et observés pour la première fois par Arago.

15. Pour préciser ce qui précède, nous allons exposer avec quelques détails un cas particulier auquel les autres pourront être rapportés par analogie. Ce cas a déjà été traité par M. G. Ferraris, en 1888, sous le titre de *Rotations électro-dynamiques produites par les courants alternatifs.*

Considérons un point O du champ (*fig.* 20) traversé

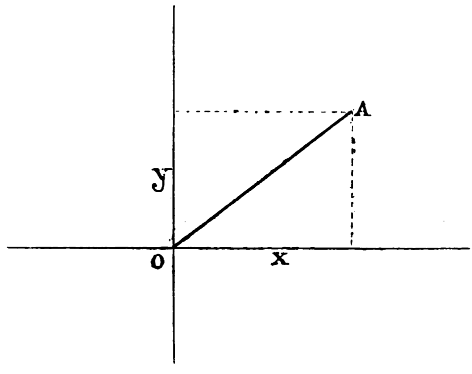


Fig. 20.

par des lignes de force qui sont à chaque instant rectangulaires l'une par rapport à l'autre et dont les valeurs varient suivant la loi harmonique. Soit x et y ces deux composantes :

$$x = H_x \sin mt,$$
$$y = H_y \sin m(t - \varphi).$$

La résultante est OA. Elle passe par le point O et son extrémité A décrira une courbe dont on obtiendra facilement l'équation en éliminant le temps t entre les deux équations précédentes. Cette courbe est, dans le

cas général, une ellipse. Cette ellipse devient un cercle dans le cas particulier où les deux composantes H_x et H_y sont égales et où la différence de phase φ est égale à un nombre impair de quarts de période.

On aurait une droite si cette différence de phase était égale à un nombre entier de demi-périodes, et, dans ce cas, l'intensité du champ aurait une direction fixe et sa valeur suivrait la loi représentée par la fonction :

$$OA = \sqrt{H_x^2 + H_y^2} \sin mt.$$

Dans tous les autres cas, on a un champ magnétique tournant d'un mouvement uniforme autour du point O ; et, si l'on place dans ce champ un corps bon conducteur, tel qu'un disque de cuivre, susceptible de tourner autour d'un axe passant par O, on sait que ce disque sera entraîné dans le mouvement du champ.

Le sens de la rotation sera inverse de celui des aiguilles d'une montre tant que la différence de phase restera comprise entre O et $\frac{T}{2}$; de $\frac{T}{2}$ à T, le sens sera le même que celui des aiguilles d'une montre ; pour une différence de phase supérieure à $\frac{T}{2}$, ce mouvement de rotation changera de nouveau de signe, et ainsi de suite.

16. Il importe de remarquer que le fait de la rotation du champ est dû à la différence de phase que l'on suppose exister entre les deux composantes. Cette différence de phase peut être obtenue d'une foule de manières, et M. Tesla, dans la construction de ses divers modèles de moteurs à courants alternatifs, en a donné de nombreux exemples.

Une légère différence dans la masse du fer des noyaux de deux électro-aimants parcourus par le même courant alternatif, amène un retard de phase sensible dans l'un des champs par rapport à l'autre.

A plus forte raison, si l'on prolonge le noyau d'un électro-aimant par une barre *d'acier dur*, les lignes de force que développe le courant alternatif rencontreront dans cette masse d'acier un obstacle à leur propagation tel que les valeurs variables de la force seront différentes, à un moment quelconque, en deux points voisins de cette barre, l'une d'elles présentant un retard sensible sur l'autre. En d'autres termes, si l'on considère une ligne de force déterminée et émanant de la barre d'acier, cette ligne de force semblera se déplacer le long de la barre; ou encore, en un point déterminé du champ, on observera une sorte d'ondulation de la force magnétique en ce point. Dans ces conditions, un corps conducteur placé à proximité de la barre pourra être entraîné dans un mouvement continu de rotation.

Nous verrons plus loin une application directe de ces considérations.

17. D'une façon générale, si l'on considère un faisceau de lignes de force magnétique et un corps bon conducteur placé dans le champ d'action de ces lignes de force, et si l'on suppose que le faisceau et le corps se déplacent l'un par rapport à l'autre, une force électromotrice sera induite dans le conducteur, sa direction étant perpendiculaire aux lignes de force magnétique ainsi qu'à la direction du mouvement relatif des deux systèmes; de plus, le sens de la force électromotrice induite sera tel que le courant qui en résulte s'oppose au déplacement considéré.

De son côté le courant induit qui circulera dans le conducteur, siège de la force électromotrice, réagira mécaniquement sur le faisceau de lignes de force en vertu de la loi de l'action réciproque d'un champ magnétique et d'un courant électrique. Cette action est normale à la direction du courant ainsi qu'aux lignes de force magnétique ; elle est donc parallèle à la direction du déplacement relatif ci-dessus, et de même sens que ce dernier comme on le voit facilement. Par conséquent si ce sont, par exemple, les lignes de force qui se déplacent par rapport au conducteur, ce dernier sera entraîné dans le mouvement des premières.

Les expériences de rotation présentées par le professeur Elihu Thomson rentrent dans la même catégorie de phénomènes : on y retrouve toujours deux ou plusieurs champs magnétiques alternatifs qui, pour n'être pas rectangulaires comme dans le § 15, n'en présentent pas moins des lignes de force diversement inclinées les unes par rapport aux autres et donnant lieu, grâce aux différences de phase, à un champ résultant mobile qui peut entraîner dans son mouvement un corps conducteur plongé dans ce champ.

L'explication du mouvement pourrait dans chaque cas être donnée comme ci-dessus; mais pour être précise elle entraînerait généralement quelque complication. Pour plus de simplicité, nous nous en tiendrons dans la suite au langage figuré des écrans magnétiques et auquel nous avons déjà eu recours ci-dessus.

Fig. 21.

18. La *fig.* 21 représente, par exemple, un électro-aimant excité par un courant alternatif. Au-dessus, et un peu de côté, se trouve placé un disque de cuivre;

par-dessus ce disque on met un peu en arrière et à gauche un second disque semblable; la *fig.* 22, repré-

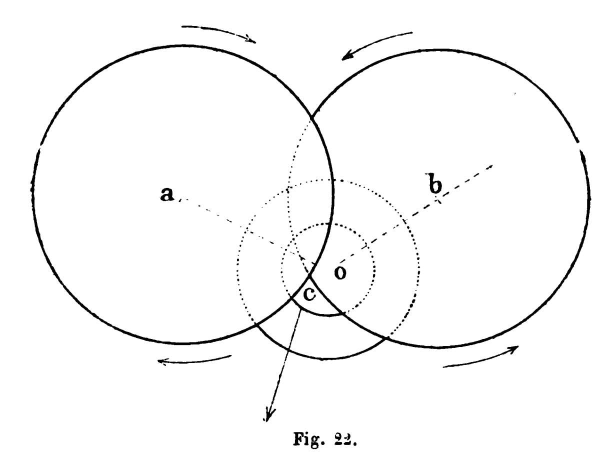


Fig. 22.

sente en projection horizontale les positions relatives de l'électro-aimant et des deux disques. Ceux-ci sont disposés de façon à pouvoir tourner autour d'un axe vertical; d'ailleurs on peut se contenter de rendre mobile un seul des deux disques.

Si nous supposons que le disque *a* soit seul, on voit que ses deux moitiés de part et d'autre du plan vertical O*a* seront également repoussées par le champ magnétique alternatif de l'électro-aimant. Mais, si nous intercalons le disque *b*, celui-ci viendra *masquer* par rapport à *a* une partie du champ, et le côté gauche du disque *a* sera plus fortement repoussé que l'autre, ces actions étant, d'ailleurs, diversement inclinées sur la verticale. Il en résultera une tendance à un mouvement de rotation dans le sens indiqué par la flèche, et autour d'un axe vertical, le disque étant disposé de façon à ne pouvoir tourner qu'autour de cet axe. Un raisonnement analogue s'appliquera au disque *b*.

On remarquera que, si le plan vertical qui contient les centres des disques *a* et *b* contient aussi le centre de l'électro-aimant, il n'y aura plus de rotation; car les deux disques sont symétriquement placés par rapport au centre de l'électro-aimant; et alors, bien que l'un d'eux, *b*, masque une partie du champ par rapport à l'autre, la partie non masquée est symétrique par rapport à O*a*, et la répulsion est équilibrée dans les deux sens.

Même résultat si les deux disques sont contenus dans un même plan; car alors aucune partie du champ n'est masquée par rapport à aucun des disques.

19. Dans ce qui précède nous avons vu que chacun des disques tendait, avec le champ magnétique, à prendre un mouvement de rotation autour d'un axe

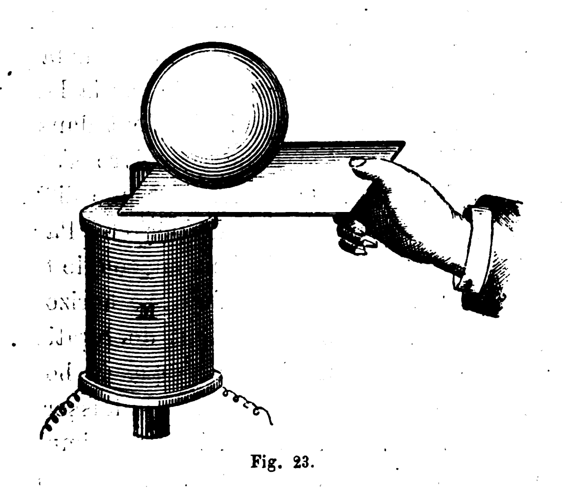


Fig. 23.

perpendiculaire au plan vertical de symétrie passant par les centres du disque et de l'électro-aimant excitateur. La tendance à ce mouvement, comme à tout autre mouvement de rotation autour d'un axe quel-

conque, est directement utilisée dans l'expérience suivante, où l'on emploie, au lieu d'un disque mobile, une sphère creuse en cuivre et flottant dans un vase rempli d'eau. Si le pôle de l'électro-aimant est situé au-dessous et dans le prolongement de la verticale qui passe par le centre de la sphère, l'action électro-magnétique se réduit, par raison de symétrie et comme il a été précédemment expliqué, à une force répulsive agissant sur la sphère dans la direction de la verticale. Mais si on vient à intercaler entre le pôle et la sphère une lame de cuivre de façon qu'elle masque une moitié du pôle à la sphère, dans le voisinage de cette sphère on a une portion de champ magnétique tournant de gauche à droite autour d'un axe horizontal et qui entraîne la sphère dans ce mouvement. On peut encore expliquer cette rotation en disant que la répulsion du pôle sur la sphère est beaucoup plus forte sur la partie découverte que sur la moitié masquée par la lame; et que d'ailleurs les courants qui circulent dans cette seconde moitié et dans la lame de cuivre s'attirent, comme nous l'avons dit, puisqu'ils ont une différence de phase inférieure à un quart de période. Par suite l'action électro-magnétique devient un couple tendant à faire tourner la boule autour d'un axe horizontal et lui imprimant un rapide mouvement de rotation. La valeur de ce couple est si grande que la boule en question tournera encore si, au lieu de la laisser flotter librement dans un vase d'eau, on la pose simplement sur une lame de cuivre, et bien que dans cette nouvelle situation elle ait à vaincre le frottement résultant du mouvement (*fig.* 23). Tout ceci suppose, bien entendu, que la lame de cuivre ne masque au champ magnétique qu'une portion de la sphère mobile.

Étant donné ce principe, ou plutôt cette façon de parler, qu'en masquant convenablement à l'action d'un pôle alternatif une partie d'un corps bon conducteur celui-ci tend à prendre un mouvement de rotation, il est facile de voir que l'on peut imaginer des variétés innombrables d'électromoteurs.

Une sorte d'anémomètre, avec des disques de cuivre pour ailettes, et ressemblant à la croix du radiomètre de Crooke, peut être mis ainsi en rotation rapide sous l'influence d'un champ magnétique alternatif, pourvu qu'un écran de cuivre soit interposé de façon à masquer une partie du champ.

20. Comme nous l'avons déjà laissé entrevoir, ce mouvement continu de rotation des lignes de force du champ peut être obtenu par une convenable disposition du noyau ou du pôle lui-même de l'électro-aimant. Il en résultera une certaine dissymétrie, comme dans les cas précédents, dans la distribution des courants induits au sein d'un corps conducteur placé dans le champ. Ainsi nous pouvons adapter un cône ou un coin de fer sur le pôle alternatif et placer dans le voisinage un anneau de cuivre pouvant tourner autour de son axe horizontal comme dans la *fig.* 24. Cette sorte de roue de cuivre tournera rapidement sous l'action du champ périodique, et le sens de son mouvement sera tel qu'elle semblera être poussée par un vent violent émanant de la pointe du cône magnétique.

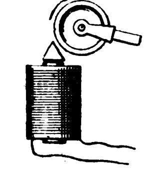


Fig. 24.

Le professeur E. Thomson a également construit un remarquable gyroscope électrique de la façon suivante : Un pivot vertical émerge du centre du pôle d'un électro-aimant alternatif (*fig.* 25). Sur ce pivot est

montée une verge portant d'une part un contrepoids et d'autre part un cadre en cuivre qui sert en même temps de monture à une roue de cuivre dont l'axe est horizontal. Le moyeu de cette roue sera de préférence en fer. Quant au cadre il doit être placé dans une position inclinée sur l'horizon. Dans ces conditions, et lorsque le champ alternatif est excité, la roue se met à tourner vivement et l'ensemble du gyroscope pivote d'un mouvement continu autour de son axe vertical. On explique facilement ces mouvements, comme ci-dessus, soit par la considération des rotations des lignes de force du champ résultant ; soit, en langage figuré, en remarquant que le cadre en cuivre qui porte la roue masque une partie du champ par rapport à celle-ci, et produit dans cette roue une distribution *dissymétrique* des courants induits, d'où inégalité de l'action répulsive du champ sur chaque partie de ce mobile. On verrait de même que, si le cadre en cuivre était parfaitement horizontal, il n'y aurait plus de mouvement. Quant aux sens de ces mouvements, si l'on se place à un instant quelconque en face de la roue du côté opposé au contrepoids, on verra cette roue tourner en sens inverse des aiguilles d'une montre ; et de même si l'on contemple l'ensemble en dessus du pôle, on verra le gyroscope tourner en sens inverse des aiguilles d'une montre. En réalité, dans cette expérience, les lignes de force du champ résultant tournent autour d'un axe géométrique vertical, et décrivent individuellement un cône autour de cet axe idéal.

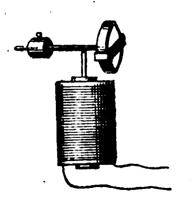


Fig. 25.

Avec un peu d'ingéniosité ces expériences peuvent

être multipliées à l'infini. C'est ainsi que l'on peut imprimer à des corps des mouvements de rotation ou de translation sous l'action d'un champ magnétique alternatif, et sans qu'il soit besoin de leur fournir un courant électrique au moyen d'une source extérieure.

21. Comme nous l'avons déjà dit, les rotations des lignes de force, et par suite l'entraînement des corps bons conducteurs placés dans le voisinage, peuvent être obtenues de diverses façons. En voici d'autres exemples intéressants, qui se différencient des premiers par des détails importants, bien qu'ils rentrent dans la même famille de phénomènes.

Considérons un barreau, *formé de lames en fils de fer*, et constituant le prolongement du noyau d'un électro-aimant parcouru par un courant alternatif (*fig.* 26). Ce barreau porte un collier de cuivre, ou une

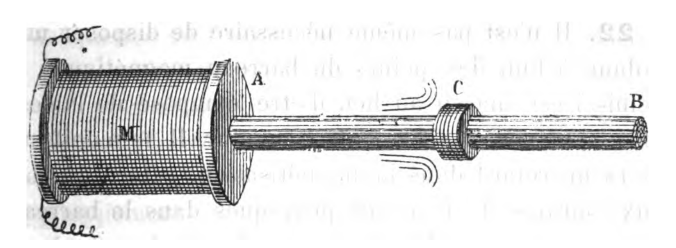


Fig. 26.

bobine à circuit fermé, qui l'entoure en un point C. La direction générale moyenne des lignes de force est celle du barreau lui-même, en supposant que le collier, ou la bobine supplémentaire, n'existe pas. Toutefois un certain nombre de ces lignes émergent à l'extérieur de la surface du barreau. Si maintenant nous considérons le collier en question, nous verrons immédiatement que les courants secondaires induits dans ce collier

[illegible] latéralement, et en grande partie, les [illegible] de force qui, sans lui, auraient suivi le barreau [illegible]. De plus, et comme précédemment, la différence [illegible] entre le courant induit et le courant primaire, déterminera le mouvement de rotation de ces lignes déversées ou déviées. On conçoit donc qu'un corps conducteur placé dans le voisinage immédiat du barreau et de son collier soit entraîné dans le mouvement du champ magnétique.

Considérons encore un tore de fer doux, portant en un de ses points une bobine à circuit fermé, et placé de telle sorte qu'un autre point de sa circonférence à 90 degrés de la bobine se trouve sur le pôle d'un électro-aimant alternatif. On place concentriquement à l'anneau un disque de fer mobile autour de son centre ; ce disque de fer est entraîné d'un mouvement continu de rotation.

22. Il n'est pas même nécessaire de disposer une bobine à l'un des points du barreau magnétique, si celui-ci est massif au lieu d'être composé de lames, ou mieux encore s'il est en acier dur. Il se manifeste alors un retard dans la magnétisation, retard dû soit aux courants de Foucault provoqués dans le barreau lui-même, soit à l'hystérésis; et le résultat final est une fuite latérale des lignes de force à l'extérieur du barreau avec un mouvement de rotation de ces lignes déversées dans l'air ambiant.

Prenons de même un barreau d'acier, et plaçons une de ses extrémités sur un pôle magnétique alternatif; il se produira dans ce barreau une véritable *auto-induction magnétique*, tout à fait analogne à l'auto-induction des courants électriques variables dans une bobine. Et alors, comme l'a fait remarquer le professeur Fleming,

de même que, dans le cas des circuits électriques ordinaires, si nous relions en quantité deux circuits, dont l'un présente une très faible résistance et une grande auto-induction, et l'autre une très haute résistance avec une faible auto-induction, nous savons qu'un courant instantané ou alternatif se fraye un passage de préférence dans le circuit de faible auto-induction, bien qu'un courant permanent choisisse de préférence le chemin de plus faible résistance; de même, dans le cas d'un circuit magnétique de faibles résistances magnétique et électrique (*tel que le fer*), shunté par un conducteur de hautes résistances magnétique et électrique (*l'air*), de rapides variations dans l'induction magnétique déterminent un état de choses tel que l'induction magnétique semble choisir le chemin, non pas de plus faible, mais de plus grande résistance magnétique. Cette *auto-induction magnétique* est la conséquence de l'entrée en jeu du facteur *temps*, dans le développement de l'induction magnétique dans un circuit magnétique conducteur; de même que l'*auto-induction électro-magnétique* ou ordinaire est la conséquence de l'intervention du facteur *temps* dans le développement du courant électrique, et est due à la naissance d'un champ magnétique environnant. De même que l'établissement du courant de régime, sous l'action d'une force électromotrice agissant dans un circuit fermé, est retardé par suite de la dépendance de ce circuit électrique avec le circuit magnétique qui en résulte; de même le développement du flux magnétique, sous l'action d'une force magnétisante ou *magnéto-motrice* agissant dans un circuit magnétique, est retardé par la dépendance de ce circuit magnétique avec les circuits électriques, qui comprennent au moins

les courants de Foucault engendrés dans la masse métallique.

Ainsi, l'effet d'un barreau massif en fer, lorsqu'il est entouré à l'un de ses bouts d'une bobine magnétisante et traversée par un courant périodique, sera de mettre en rotation des disques de cuivre ou de fer placés à proximité; le même effet sera obtenu si l'on met ce barreau contre le pôle d'un électro-aimant alternatif.

Avec de l'acier trempé l'effet est beaucoup plus marqué; et ici intervient alors l'hystérésis pour retarder la propagation des ondes magnétiques. Si, par exemple, on place une forte lime (*fig.* 27) par son milieu et à plat sur le pôle d'un électro-aimant alternatif, on pourra provoquer la rotation de disques de cuivre ou de fer que l'on amènera au-dessus de la lime de part et d'autre du pôle de l'électro-aimant et vers chacune des extrémités de cette lime. Dans ce cas le retard d'aimantation dans le barreau est dû à sa propre structure physique, et non pas à un conducteur fermé en court circuit qui l'entourerait en un point. Le résultat est néanmoins analogue: une certaine inertie s'oppose à l'établissement de l'induction magnétique dans l'acier sous l'action de la force magnétisante, et cette inertie dépend en partie des courants de Foucault développés dans la masse du métal, et en partie de l'hystérésis; comme conséquence, nous avons un déplacement continu des lignes de force du champ, qui peuvent entraîner avec elles des corps mobiles et bons conducteurs.

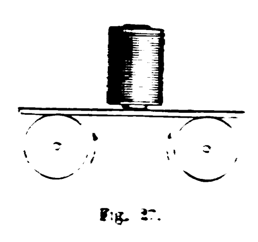


Fig. 27.

Comme l'ont fait remarquer M. Fleming et M. Swin-

burne, la question de cette *dérivation magnétique* des lignes de force, qui est la conséquence du retard d'aimantation, dû lui-même aux causes diverses que nous avons vues, mérite une attention toute spéciale dans le cas des transformateurs industriels de courants alternatifs, et dans l'étude de leurs circuits magnétiques. Dans un circuit fermé en fer entouré *partiellement* par une bobine magnétisante et soumis à l'action d'un courant alternatif de très courte période, l'induction magnétique ne suivra pas seulement le chemin de plus faible résistance magnétique, c'est-à-dire le fer, mais se dérivera en partie à travers l'air intermédiaire; et ce *flux perdu* peut dans des transformateurs mal étudiés devenir assez considérable.

23. Tous les phénomènes qui ont été passés en revue se rattachent aux lois générales de l'induction électro-magnétique auxquels il conviendra toujours de recourir pour l'étude des cas particuliers que l'on pourrait rencontrer.

Néanmoins je crois devoir reproduire, pour mémoire, les quatre règles, dont la première a déjà été citée, qui ont été formulées par le professeur Elihu Thomson, laissant le lecteur juge de leur portée et de leur emploi :

1° Lorsque deux ou plusieurs circuits fermés sont induits de la même manière par un champ magnétique alternatif, ils s'attirent l'un l'autre et tendent à se placer parallèlement;

2° Des masses de fer ou d'acier placées dans un champ magnétique alternatif provoquent des déviations des lignes de force, ou, si l'on veut, produisent des lignes de force dans des directions latérales aux directions primitives, et peuvent, par conséquent, occasionner

le mouvement de circuits fermés qui se trouveraient sur le chemin de ces lignes ;

3° Des circuits fermés dans des champs magnétiques alternatifs, ou d'intensité variable, donnent naissance à des lignes de force magnétique déviées de leurs directions primitives, et peuvent, par suite, provoquer le déplacement de circuits fermés qui se trouveraient sur le chemin de ces lignes déviées ;

4° Des masses de fer ou d'acier placées dans un champ magnétique alternatif peuvent agir sur d'autres masses semblables ou des circuits électriques fermés, de manière à produire le mouvement relatif de ces masses ou circuits ou à leur imprimer une tendance au déplacement; l'effet produit dépendant à chaque instant des dispositions et des valeurs relatives du magnétisme dévié et du magnétisme ayant conservé ses directions primitives.

APPLICATIONS.

24. De même que les phénomènes de répulsions, de déviations ou de rotations électro-magnétiques peuvent donner lieu à des expériences d'une infinie variété, de même on ne sera pas surpris que le professeur Elihu Thomson, après les avoir étudiés, ait cherché à les employer à la réalisation de divers appareils pratiques qui trouvent leur utilité dans l'industrie des courants alternatifs.

Tels sont les *indicateurs de courant*, les *lampes à arc*, les *appareils régulateurs* et les *moteurs* pour courants alternatifs, et représentant autant d'applications diverses des phénomènes étudiés.

25. Pour les *indicateurs de courant*, un anneau de

cuivre monté sur un axe ou suspendu, composé de minces rondelles empilées et isolées les unes des autres, et pouvant entraîner dans ses mouvements une aiguille ou index, est placé dans l'intérieur d'une bobine fixe et parcourue par les courants alternatifs dont on veut connaître l'intensité ou le potentiel. L'action de la pesanteur, ou bien un ressort, ramène l'index au zéro d'une graduation; et dans la position correspondant à ce zéro, le plan de l'anneau de cuivre fait un angle de 15 à 20 degrés avec le plan de la bobine. Cet angle est accru de la déviation plus ou moins grande suivant l'intensité du courant traversant la bobine; et l'instrument pourra être gradué selon les conditions de son emploi.

D'ailleurs, nous pouvons remarquer que le galvanomètre ou électro-dynamomètre du professeur Fleming, dont il a été question ci-dessus, rentre dans la même catégorie d'applications.

26. Pour les *lampes à arc*, le système électro-magnétique destiné à la formation de l'arc peut être composé d'un conducteur bouclé, une bobine parcourue par un courant alternatif et un noyau ou fil de fer. L'action répulsive sur le conducteur fermé soulèvera et réglera les charbons de façon analogue à celle des électro-aimants employés avec les courants continus.

27. Quant aux *appareils régulateurs* ou *procédés de régulation* des courants, on en peut imaginer de nombreuses variétés. Nous nous bornerons à décrire sommairement l'appareil suivant indiqué et employé par le professeur E. Thomson. L'appareil se compose d'un anneau lamellaire de fils ou de lames de fer (*fig.* 28), entouré sur une portion de sa surface de fil isolé que parcourra le courant alternatif à régler. Une

lame de cuivre recourbée et fermée sur elle-même constitue le circuit secondaire de cette sorte de transformateur, et elle est montée de façon à pouvoir, en tournant autour de l'axe géométrique de l'anneau, embrasser une partie quelconque de cet anneau, y compris la fraction recouverte de fil. La poignée que la figure indique sert à opérer ces déplacements à volonté. Il est à remarquer immédiatement que, si cette lame embrasse une partie de l'anneau recouverte de fil, elle se trouvera violemment repoussée, comme dans les diverses expériences précédentes, au delà de cette région de l'anneau; néanmoins, on voit sans peine qu'il existe deux positions de symétrie pour lesquelles ladite lame ne subit aucune répulsion de la part de la bobine inductrice; d'abord, lorsqu'elle est au centre de la bobine ou qu'elle la recouvre d'une façon absolument symétrique, et ensuite si on la place dans une position diamétralement opposée. Dans le premier cas, le coefficient d'auto-induction, ou résistance inductive, ou *inductance* comme l'appelle M. Heaviside, est réduit au minimum dans la bobine que traverse le courant alternatif; dans le second cas, cette *inductance* est maxima. Entre ces deux positions extrêmes, on peut faire mouvoir la lame de manière à graduer sans secousse l'intensité du courant de la bobine fixe entre sa valeur minima et sa valeur maxima. On peut ainsi varier les effets dans un circuit alternatif de manière à reproduire ceux d'une résistance variable dans un circuit à courant continu : on obtient ce résultat sans grande perte d'énergie et d'une façon par-

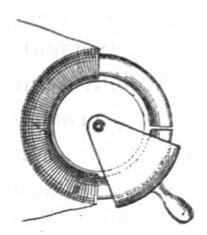


Fig. 28.

faitement graduée. On augmente notablement l'effet de cet appareil en y ajoutant un moyeu en fer, comme l'indique la *fig.* 28, mobile autour du centre du système avec la lame recourbée. Celle-ci pourrait être remplacée par une bobine de fil formé sur lui-même. La bobine fixe de cet appareil sera mise soit dans le circuit du courant à régler, soit en dérivation, suivant les cas; soit encore dans le circuit secondaire d'un transformateur intermédiaire.

28. En ce qui concerne les *moteurs* à courants alternatifs, de nombreuses dispositions peuvent être essayées. Voici les plus simples indiquées par le professeur Elihu Thomson :

Les bobines C (*fig.* 29), parcourues par un courant alternatif, entourent la bobine mobile B montée sur un axe perpendiculaire à l'axe commun des bobines C. Les bouts de la bobine B, qui est formée de fil isolé, sont amenés à un commutateur, et les balais de celui-ci sont reliés, comme l'indique la figure, par un fil gros et court. Le commutateur est disposé de façon à fermer la bobine B en court circuit depuis la position de parallélisme avec C jusqu'au moment où elle est à angle droit avec ces dernières, et à ouvrir le circuit B depuis la position rectangulaire, ou dans le voisinage de cette position, jusqu'au moment où elle revient au parallélisme. La déviation imprimée à la bobine B, lorsque son circuit est fermé par le commutateur et les

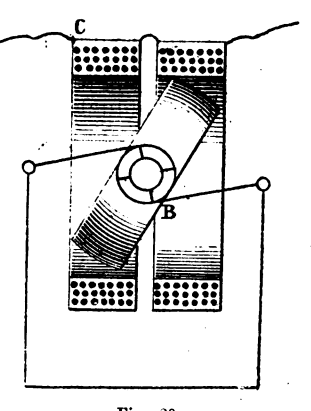


Fig. 29.

balais l'amène à angle droit avec C ; mais, à ce moment, son circuit est ouvert, et sa vitesse acquise l'entraîne à dépasser le parallélisme ; celui-ci étant dépassé, la bobine B est de nouveau fermée en court circuit, et ainsi de suite. Elle peut prendre, de la sorte, un mouvement de rotation très rapide, mais son énergie est très faible. Cela se conçoit facilement ; mais l'appareil ainsi décrit ne représente que la machine élémentaire qui peut être réalisée sur les mêmes principes, et dont voici un exemple :

La partie mobile ou armature (*fig.* 30 et 31) est composée d'un certain nombre de disques de tôle enroulés, comme dans d'autres machines du même auteur, de trois bobines qui se croisent près de l'arbre de rotation. Le commutateur est disposé de façon à mettre successivement en court circuit chacune de ces bobines deux fois par tour et pendant un quart de révolution. Les bobines inductrices entourent l'armature, et le champ magnétique est complété par des lames de fer. Sur les *fig.* 30 et 31, C représente les bobines inductrices, qui, seules, sont traversées par le courant excitateur.

I est une masse de fer en lames, dans l'intérieur de laquelle l'armature peut tourner avec ces trois bobines B_1, B_2, B_3 enroulées sur un noyau de disques de tôle. Le commutateur met successivement en court circuit les bobines de l'armature et aux moments convenables pour utiliser les effets de répulsion dus aux courants induits dans ces bobines par le champ excitateur. Ce moteur n'a pas de *point mort ;* il peut partir de sa position de repos sans débrayage préalable, et donner une puissance considérable ; mais son rendement n'a pas encore été indiqué.

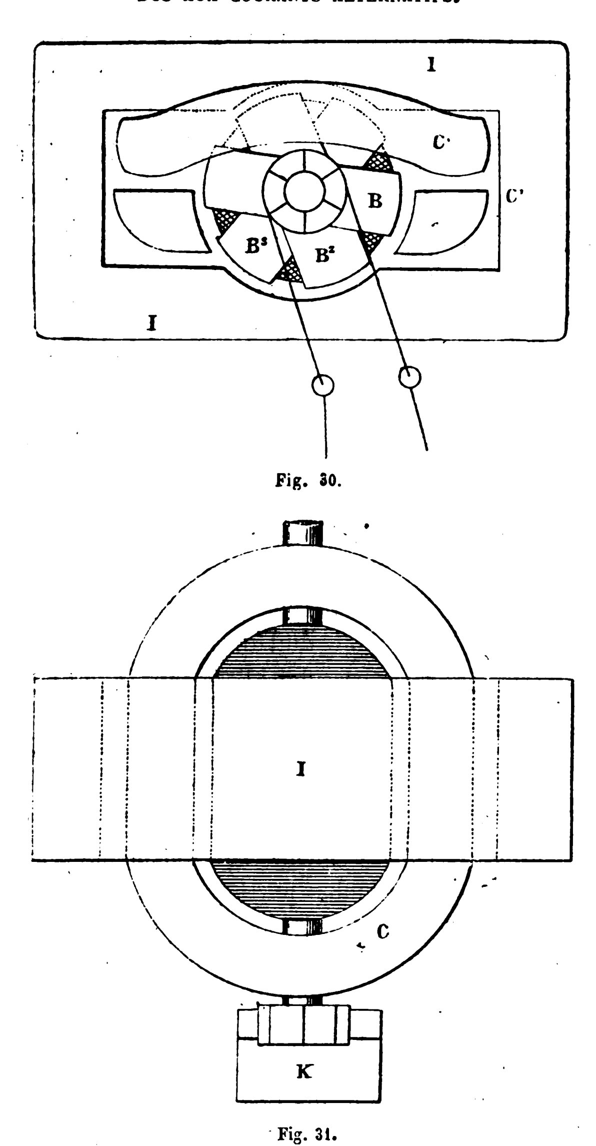


Fig. 30.

Fig. 31.

Une curieuse propriété de ce moteur est que, à une

certaine vitesse dépendant de la fréquence du courant alternatif excitateur, un courant *continu* circule entre les balais du commutateur. Elle réalise de la sorte la transformation d'une certaine partie de l'énergie électrique en courant continu; avec cet inconvénient toutefois qu'on a recours à un appareil en mouvement, qui réclame toujours quelque surveillance ou quelque entretien, contrairement à ce qui a lieu avec les transformateurs ordinaires par courants alternatifs.

Un petit moteur d'un type curieux a été réalisé, qui met en application, ce principe consistant à masquer partiellement les pôles excitateurs par des circuits fermés, ou bien à faire tourner les lignes de force d'un mouvement continu, grâce à l'intervention de circuits auxiliaires fermés. Un anneau, formé de rondelles de tôle superposées (*fig.* 32), est entouré de fil isolé. Il présente une fente, qui produit une solution de continuité dans l'anneau, et qui fait que deux pôles de noms contraires se développent en regard l'un de l'autre dans cette région. Chaque pôle est entouré d'un *collier* de cuivre fermé sur lui-même, et qui *masque* le pôle, au moins partiellement. On introduit dans l'entrefer de l'anneau le bord d'un disque de cuivre pouvant tourner autour d'un axe; ce disque prend un mouvement rapide de rotation quand l'électro-aimant est excité par un courant alternatif. On remarquera que la nature du disque mobile n'est pas sans influence sur la valeur de l'action produite : l'effort produit sur un disque de plomb, par exemple, sera bien moindre à cause de la faible conductibilité de ce métal.

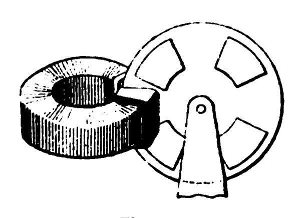


Fig. 32.

29. Il ne sera pas inutile d'ajouter quelques lignes sur les *compteurs* par courants alternatifs, en tant qu'applications des mèmes phénomènes. Nous avons déjà indiqué plus haut le principe du compteur Borrel, qui est fabriqué en Suisse depuis de nombreuses années, et qui est basé sur l'entraînement d'un disque métallique par un champ magnétique tournant, obtenu par l'action combinée de deux bobines rectangulaires traversées par des courants alternatifs d'intensités sensiblement égales et présentant l'un par rapport à l'autre une différence de phase d'un quart de période ou d'un nombre impair de quarts de période.

Le *compteur Shallenberger* est basé sur le même principe, avec cette différence essentielle que la seconde bobine, composée de larges lames de cuivre, ne reçoit aucun courant d'une source extérieure, mais est simplement parcourue par le courant alternatif induit par la première. Au centre se trouve placé un disque de cuivre qui porte une couronne en fer pour renforcer l'action. Le couple moteur est maximum quand les deux bobines sont à 45 degrés l'une par rapport à l'autre.

Un modèle beaucoup plus simple de compteur de ce genre a été dessiné et proposé par MM. Wright et Ferranti. Il se compose de deux électro-aimants verticaux à noyau de fer divisé (*fig*. 33 et 34). Aux pôles sont attachées deux cornes recourbées circulairement en fer divisé, et qui occupent une position horizontale. Ces cornes sont, de distance en distance, magnétiquement *étranglées* au moyen de colliers de cuivre, comme nous l'avons vu dans une des expériences théoriques ci-dessus. Les cornes, ainsi agencées, embrassent deux arcs de cercle entre lesquels peut tourner une couronne

de cuivre léger ou de fer mince. Cette couronne métallique forme la périphérie d'une roue susceptible de

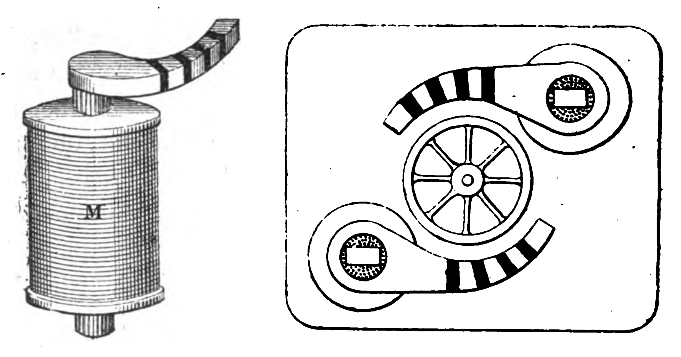


Fig. 33. Fig. 34.

tourner autour d'un axe vertical, qui entraîne un mécanisme enrégistreur ainsi qu'une girouette à ailettes en mica. L'action électro-magnétique, qui fait tourner la roue métallique, peut être sommairement expliquée de la façon suivante : comme nous l'avons vu précédemment dans une expérience analogue, les anneaux de cuivre répartis sur les prolongements polaires constituent, en quelque sorte, des *étranglements* magnétiques qui déterminent dans le champ à alternations rapides une véritable diffusion latérale des lignes de force à l'extérieur des cornes. En même temps une série de pôles magnétiques de nom contraire voyage le long de la corne à partir de la base, qui est en contact avec le pôle de l'électro-aimant, jusqu'à sa pointe. Ces pôles donnent naissance à une série de touffes de lignes de force, qui émanent latéralement de la corne et qui voyagent le long de celle-ci. Le passage latéral de ces lignes de force à travers la couronne métallique, qui forme la périphérie de la roue, développe dans cette

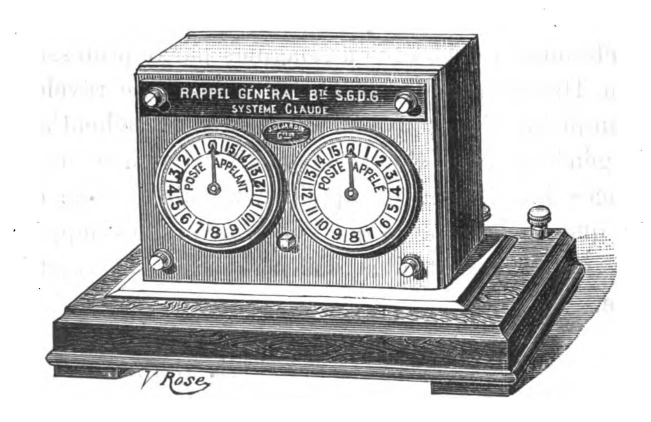
couronne des courants tourbillonnaires ou de Foucault. Ces courants sont repoussés d'une façon continue par le champ variable qui les engendre, et, par suite, un mouvement de rotation est imprimé à la roue par le champ alternatif de l'électro-aimant. La vitesse de rotation étant convenablement retardée par les ailettes, peut être rendue sensiblement proportionnelle à l'intensité du courant excitateur des électros, et alors le nombre de tours de la roue dans un temps donné sera sensiblement proportionnel à la quantité d'électricité qui aura traversé l'enregistreur pendant ce temps.

30. De l'exposition qui précède, il résulte que les effets curieux et les expériences si intéressantes qui ont été mis en évidence ou imaginés par le professeur Elihu Thomson et divers autres auteurs ne révèlent aucun phénomène nouveau, et qu'ils se rattachent aux lois générales de l'électro-magnétisme comme conséquences immédiates ou applications directes de ces lois, que l'on connaît et que l'on trouvera développées dans les récents traités d'électricité et de magnétisme.

M. Cailho.

RELAIS CLAUDE

Le dispositif imaginé par M. Claude (*) a pour but, étant donnés un certain nombre de postes qu'on appellera respectivement 1, 2... etc. 15, et qui sont embrochés sur un seul fil, de permettre à deux quelconques d'entre eux de correspondre l'un avec l'autre de manière que les postes intermédiaires n'aient pas à intervenir pour donner la communication directe entre le



poste appelant et le poste appelé et que de plus tous les postes non intéressés intermédiaires ou non, soient immédiatement avertis que la ligne est occupée et ne puissent ni surprendre, ni interrompre cet échange de correspondances. Enfin, tous les appareils seront ramenés dans la position d'attente « à la croix » à la fin de la transmission. Tel est le programme.

(*) Cet appareil a été mis en service dans les bureaux de plusieurs lignes de chemins de fer.

Voici quelles seront les manœuvres des employés. J'appellerai positifs les courants qui parcourent toute la ligne dans un sens, négatifs ceux qui la parcourent en sens contraire. L'employé du poste appelant (poste n° 2, par exemple) tourne d'abord un *commutateur* qui sert à passer de la position d'attente à celle de travail, puis il envoie successivement des courants positifs, cinq par exemple s'il veut correspondre avec le poste n° 5. Ces cinq émissions ont pour effet de faire tourner dans chaque poste une aiguille qui se meut devant un premier cadran numéroté B et de l'arrêter sur le n° 5. Pour se nommer, le poste appelant, ici n° 2, envoie ensuite, au moyen d'un second manipulateur, « deux » courants négatifs. Ces émissions sont en nombre égal à son rang. Ces deux courants ont pour effet d'amener dans chaque poste, sur le n° 2, une aiguille qui se déplace devant un second cadran numéroté A. L'employé qui appelle peut alors transmettre des signaux au moyen du manipulateur de l'appareil de transmission que nous supposerons être un cadran. Par les courants positifs qu'il envoie ainsi, il fait fonctionner la sonnerie du poste appelé. L'employé appelé met aussitôt son *commutateur* à la position de travail, ce qui lui permet de recevoir dans son appareil les signaux émis du poste appelant (ici poste n° 2). Il peut y répondre. Enfin, une fois la transmission terminée, l'employé appelant envoie une série de courants négatifs et les aiguilles de tous les postes sont ramenées à la croix. L'aiguille du cadran A y revient d'abord et les émissions suivantes y ramènent ensuite l'aiguille du cadran B.

On voit donc que chaque poste comprend, en plus des appareils ordinaires, un relais, deux cadrans indicateurs

à numéros A et B, un commutateur qui sert à passer de la position d'attente à celle de travail et deux manipulateurs destinés à envoyer l'un des courants positifs, l'autre des négatifs.

Tous les relais sont embrochés sur un seul fil et les appareils de transmission et réception aussi bien que les aiguilles des cadrans indicateurs fonctionnent sous l'action d'une pile locale.

L'installation se divise donc en deux parties bien distinctes, circuit de ligne, circuits locaux.

Circuit de ligne.

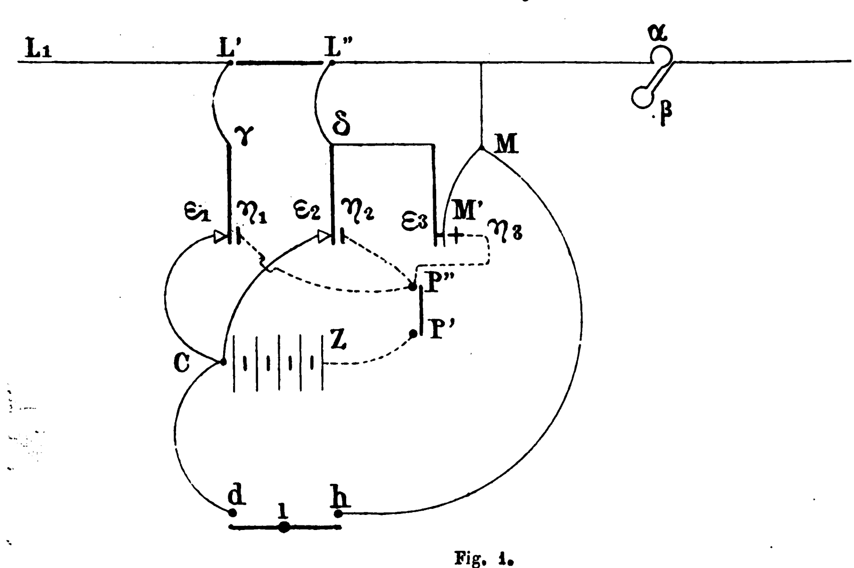


Fig. 1.

Explication de la fig. 1.

$L_1 L_2$ est la ligne dans laquelle est embroché le relais αβ.
α bobine qui tourne sous l'action d'un courant positif.
β bobine qui tourne sous l'action d'un courant négatif.

Ces deux bobines sont mobiles chacune dans un champ magnétique. Elles ont une faible self-induction et 100^{ω} de résistance.

L′L″ communication métallique qui existe lorsque la manette du *commutateur* est dans la position d'attente et qui est rompue dans la position de travail.
CZ pile de ligne qui permet d'envoyer par le manipulateur δ des courants positifs et par le manipulateur γ des courants négatifs.
MM′ manipulateur de l'appareil à cadran.
$\varepsilon_1\varepsilon_2\varepsilon_3$ plots reliés au pôle positif de la pile de ligne.
$\eta_1\eta_2\eta_3$ pôle négatif.
P′P″ communication directe qui est rompue quand le *commutateur* à manette est dans la position d'attente et qui est introduite dans la position de travail.
i ressort fixé en son milieu.
d et *h* contacts du ressort *i*.

Quand le ressort *i* touche à la fois ses deux contacts *d* et *h*, le manipulateur δ ou le manipulateur MM′ ne peuvent plus envoyer de courants sur la ligne, car la pile serait mise en court circuit soit par $C dih MM' \eta_3 P'' P' Z$, soit par $C dih MM' \varepsilon_3 \delta \eta_2 P'' P' Z$. C'est ce qui a lieu en tout poste non intéressé, dès que la ligne est occupée.

On se rendra compte du procédé employé pour ouvrir ou fermer ces contacts après l'explication des circuits locaux (*fig.* 2).

Après la description des organes, passons au fonctionnement de l'appareil. L'employé appelant abaisse son manipulateur de droite et envoie un courant positif, ce qui produit le contact entre α et ρ'. Or, comme dans l'état d'attente le contact δb (*fig.* 2) est fermé, l'électro-aimant B′ entre en jeu. On fait avancer ainsi dans chaque poste l'aiguille du cadran de droite jusqu'au numéro du poste appelé. Sous l'action du cylindre à cames B, le ressort γ qui était isolé de *e* vient, dès le premier courant émis, toucher ce contact, et, de plus, aussitôt que l'aiguille du cadran numéroté B passe sur le numéro du poste auquel elle appartient, le contact entre ε et *f* est établi et ne l'est que pour cette position.

Circuit locaux.

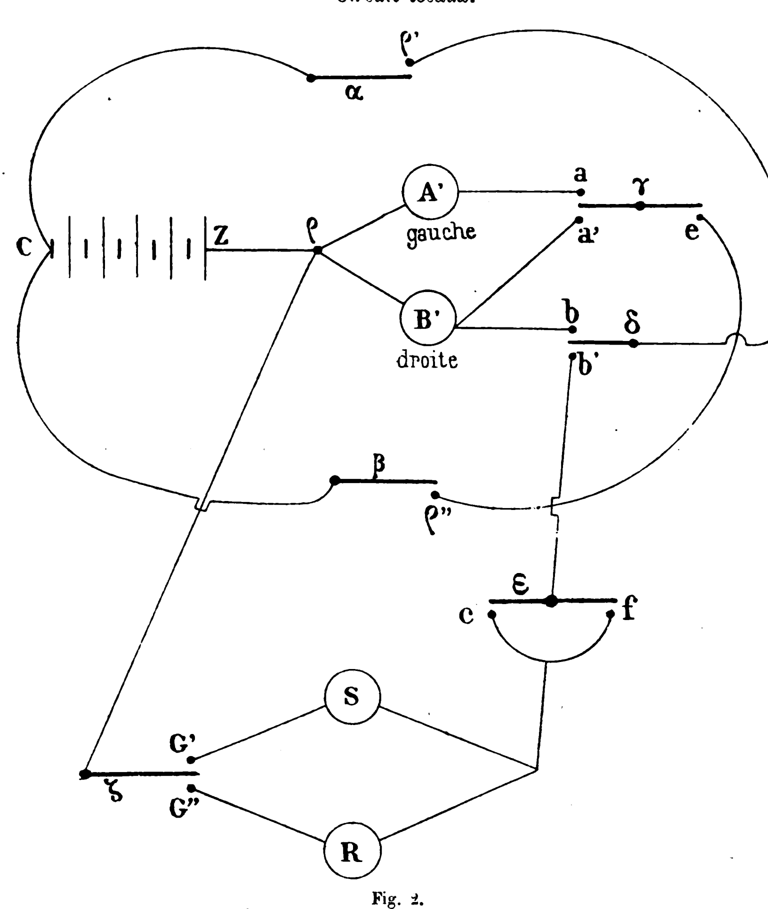


Fig. 2.

Explication de la deuxième figure.

A' et B' sont des électro-aimants qui peuvent fonctionner sous l'action de la pile locale CZ. Ils commandent un mécanisme mu par un ressort d'horlogerie. Chaque fois qu'ils entrent en action, ils font tourner les aiguilles des cadrans indicateurs à numéros A et B, dont il a déjà été parlé. Mais de plus ils font aussi tourner de même deux cylindres munis de cames convenablement disposées qui produisent en temps opportun le soulèvement ou l'abaissement des ressorts γ, δ, ε (*fig.* 2) et du ressort *i* (*fig.* 1). Les

ressorts γ, ε, i sont fixés au milieu. Les moitiés de droite de ces ressorts sont mues par le cylindre à cames de « droite » B et leurs parties gauches par le cylindre à cames de « gauche » A. Les cylindres à cames ne sont pas représentés.

R récepteur à cadran ordinaire.

S sonnerie.

ζ communication métallique établie par le *commutateur à manette* avec G′ dans la position d'attente et avec G″ dans la position de travail.

CZ pile locale.

α et β ressorts déliés qui viennent presser sur les contacts ρ' et ρ'' par le jeu du relais. Ainsi, sous l'action d'un courant positif, le contact $\alpha\rho'$ est assuré, et, par un courant inverse, le contact Bρ'' est établi.

Maintenant, lorsque l'appelant envoie un courant négatif au moyen de son manipulateur de gauche, c'est l'électro-aimant A′ qui entre en jeu. En effet, le relais met en contact β et ρ'' et quant à γ, qui est toujours resté depuis le commencement en contact avec a, comme dans la position d'attente, il vient d'être mis en contact avec e. Nous l'avons déjà dit. Le circuit de la pile locale est ainsi fermé par l'électro A′ et les ressorts β et γ.

Dès le premier courant négatif, le contact entre δ et b est rompu par l'action du cylindre à cames A et δ vient en contact avec b'.

L'aiguille du cadran A continue à se déplacer, et l'appelant n'a qu'à envoyer un nombre d'émissions suffisant pour lui faire marquer le numéro de son poste. Il en envoie deux, s'il est au poste n° 2. Dès lors, dans tous les postes, le cadran B marque le numéro du poste appelé. Dans tous les postes le cadran A marque le numéro du poste appelant.

Mais, ce qui est particulier au poste appelé, c'est que le cylindre à cames B y a fermé le contact εf; et, ce qui est particulier au poste appelant, c'est que le cylindre à cames A y a fermé le contact εc. Le ré-

sultat commun de ces deux opérations est de préparer aux courants de la pile locale l'accès de la sonnerie S (position d'attente) ou du récepteur R (position de travail).

Considérons le poste apelé. Si le poste appelant se met à *transmettre*, ce qui a lieu par un envoi de courants positifs, le ressort α vient en contact avec ρ' et le circuit de la pile locale se trouve fermé par $C\alpha\rho'\delta b'f$ (R ou S) $\zeta\rho Z$. La sonnerie ou le récepteur se mettent à fonctionner; mais ils ne peuvent pas fonctionner dans un poste non intéressé, car les contacts c et f y sont rompus. Le poste appelé pourra ainsi recevoir.

Il pourra aussi répondre. En effet, au poste appelant, que nous supposerons être le poste n° 2, par exemple, dès que l'aiguille du cadran A est venue se mettre sur la division n° 2, le cylindre à cames A qui est mobile en même temps que cette aiguille a pressé le ressort ε sur le contact c. Si des courants de travail, c'est-à-dire positifs, actionnent le relais, celui-ci met en contact α et ρ' et le courant de la pile locale se ferme par $C\alpha\rho'\delta b'\varepsilon c RG''\zeta\rho Z$, c'est-à-dire par le récepteur.

Il est intéressant maintenant d'examiner pourquoi les postes non intéressés ne peuvent couper. C'est grâce au jeu du ressort i et des contacts d et h. Reportons-nous à la *fig.* 1 où ils sont indiqués. Dès que le cylindre à cames B commence à tourner, le contact s'établit et se maintient en h avec le ressort i, et dès que le cylindre A se met à son tour en mouvement, le contact s'établit et se maintient en d. Si un poste voulait interrompre la communication, que devrait-il faire pour avoir la pile en P′ P″ et enlever le court circuit L′ L″? Il mettrait son *commutateur*

sur « travail » ; puis il abaisserait le manipulateur d'appel δ (*fig.* 1) ou celui de son appareil à cadran MM′; mais on a vu qu'il met alors tout simplement sa pile de ligne en court circuit. Il est à remarquer que les contacts *d* et *h* ne peuvent pas s'établir dans le poste qui appelle de façon à le gêner dans ses manœuvres. En effet, tant qu'il envoie des courants d'appel (positifs), le contact *h* peut bien se fermer sous l'action du cylindre à cames B, mais le contact *d* reste ouvert; et, lorsqu'il envoie des courants négatifs pour se nommer, peu importe la fermeture du contact *d*, car, à ce moment, ce n'est plus l'un des manipulateurs δ ou MM′ dont il se sert, mais c'est le manipulateur γ. Seulement, dès que le poste appelant, le poste n° 2, par exemple, met en se nommant l'aiguille du cadran A sur le n° 2 qui est le sien, le contact *d* est rompu. Cette rupture s'opère sous l'action du cylindre à cames A, et seulement pour cette position déterminée de l'aiguille. On peut alors de nouveau se servir des courants positifs et la transmission s'opère au moyen du manipulateur MM′.

Quand la communication est terminée, le poste appelant appuie sur son manipulateur de gauche, qui est marqué d'une croix. Il peut ainsi envoyer des courants négatifs et rappeler à la croix les aiguilles de tous les postes. Sous l'action de ces courants, en effet, les relais pressent les ressorts β sur les contacts ρ'' et l'électro A′ entre en jeu, car le circuit local $C\beta\rho'' e\gamma a A'\rho Z$ est fermé. L'aiguille du cadran A se déplace vers la division 15 1/2 qui précède la croix d'une demi-division; là, elle s'arrête, mais sous l'action du cylindre à cames entraînée par l'aiguille, la communication est à ce moment précis établie entre le ressort γ

et le contact a', de sorte que c'est au tour de l'électro B' à entrer en jeu. L'aiguille du cadran B se déplace donc à son tour vers la croix et en passant de la division 15 à la croix, elle entraîne vers la croix du cadran A, grâce à un artifice du mécanisme, l'aiguille de ce cadran même, qui s'en était arrêtée à une demi-division.

Dans cette évolution des cadrans, les ressorts sont remis dans la position qu'ils doivent occuper lorsque la ligne est libre. Le ressort γ est isolé en e et pressé sur a, le ressort δ est en contact avec b et tout est prêt pour une nouvelle correspondance.

J.-B. POMEY.

RELAIS WILLOT

Les conditions de bon fonctionnement d'un relais peuvent être ramenées aux deux suivantes :

1° Le système électro-magnétique doit avoir une sensibilité telle, qu'il puisse être actionné par des courants faibles d'intensité et comporter une marge suffisante pour que le réglage n'ait pas à être modifié lorsque de petites variations se produisent dans l'intensité du courant reçu;

2° L'armature doit obéir rapidement à l'action du courant transmis; l'action magnétique sur le système d'armature doit cesser en même temps que le courant qui l'a provoquée. En un mot, l'armature ne doit pas subir l'influence du magnétisme rémanent ou condensé inhérent aux masses de fer qui constituent l'électro-aimant.

Le magnétisme rémanent de même que le magnétisme développé dans l'électro-aimant par la décharge résiduelle de la ligne, sont autant d'obstacles sérieux aux vibrations rapides de l'armature et par suite une cause de fontionnement irrégulier du relais. Ces effets sont surtout appréciables sur les lignes ayant une grande capacité électro-statique.

Considérons un électro-aimant ordinaire, un barreau de fer doux entièrement enveloppé d'une bobine remplie de fil fin recouvert de soie (*fig.* 1).

N

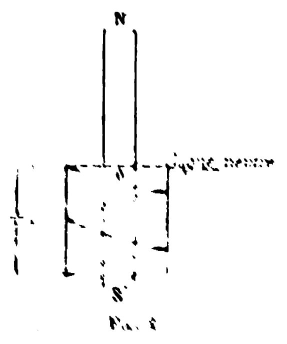
O — Ligne neutre.

S

Fig. 1.

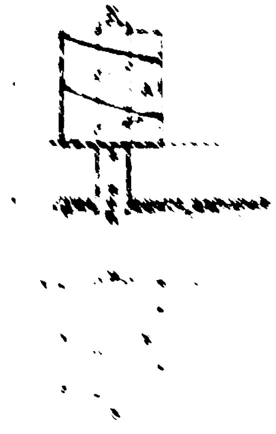
Si l'on fait passer un courant dans la bobine, il a

pour effet d'orienter les molécules magnétiques du barreau de fer, le fluide nord se porte en N et le fluide sud en S. La ligne neutre de l'aimant est au milieu de la bobine, en O. La force magnétique développée dans ce barreau est proportionnelle à l'intensité du courant et au nombre de tours de spires de la bobine. Lorsque le courant cesse, la recomposition magnétique se fait en O. Le magétisme résiduel dû à l'impureté du fer est de même nom que celui qui l'a provoqué.



Si l'on prolonge le barreau de fer doux de façon à ce qu'une partie seulement soit enveloppée par la bobine comme dans la *fig.* 2, la ligne neutre est déplacée et reportée au point O dans le voisinage de la sortie de la bobine.

Si l'on place à l'extrémité libre du barreau une autre bobine, en laissant un espace libre entre les deux comme dans la *fig.* 3, la distribution du magnétisme est, comme l'indiquent les lettres de la [illegible], N et S à chacune des extrémités du barreau; à la sortie de chaque bobine, un [illegible] de force [illegible]. La ligne neutre est [illegible] du barreau. Lorsque [illegible] cesse, la [illegible] magnétique [illegible]



de la bobine A redevient *n* et la partie *n* du côté de la bobine B redevient *s* (*fig.* 4). Le magnétisme résiduel est *s* de S en O et *n* de N en O. C'est la distribution du magnétisme dans les électro-aimants ordinaires des appareils Morse qui sont formés comme l'on sait de deux électro-aimants droits réunis au moyen d'une culasse en fer doux.

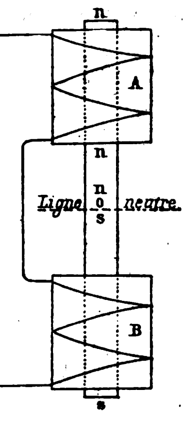


Fig. 4.

La force magnétique est maximum aux extrémités polaires N et S de l'électro-aimant ; elle va en décroissant jusqu'à la sortie de la bobine où la polarité change de nom jusqu'à la ligne neutre principale O, *fig.* 5.

La force magnétique développée dans la partie du fer non recouverte par la bobine est plus faible qu'à l'extrémité du barreau et cela se comprend puisque cette polarité est produite, non par l'action directe de l'hélice magnétisante, mais par l'influence de celle-ci et à distance. Les variations de force magnétique du côté de la culasse sont aussi moins appréciables qu'aux extrémités polaires de l'électro-aimant et il faut de très grandes différences d'intensité de courant pour observer, dans cette partie de l'électro-aimant, un changement dans la force attractive ou répulsive d'une armature polarisée actionnée à ce point.

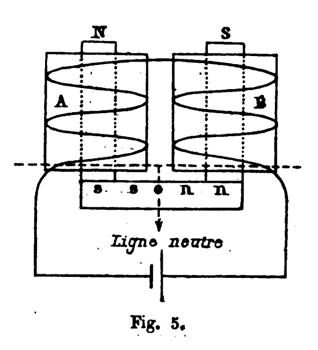


Fig. 5.

Le renversement de polarité du côté de la culasse à la rupture du circuit (*fig.* 6) a été utilisé par d'Arlincourt pour provoquer le mouvement d'une armature, effet bien connu sous le nom de coup de fouet (*fig.* 7).

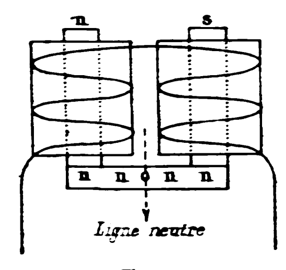


Fig. 6.

D'après ce qui précède, il est facile de se rendre compte des effets nuisibles du magnétisme rémanent sur le fonctionnement d'une armature. Dans les électro-aimants ordinaires, où l'armature est actionnée au point où se produit le maximum de force magnétique, il a pour effet de maintenir l'armature au contact et de prolonger ainsi l'action du courant. Dans le système électro-magnétique d'Arlincourt, c'est le contraire, le renversement de polarité du côté de la culasse où se trouve actionnée l'armature, provoque le renvoi de celle-ci sur sa vis de repos aussitôt que le courant cesse (*fig.* 7). Mais lorsqu'il s'agira d'obtenir un nouveau mouvement de l'armature, il sera d'autant plus retardé que le magnétisme résiduel ou condensé sera plus fort. Dans ce dispositif, le magnétisme rémanent retiendra l'armature polarisée sur la vis de repos jusqu'à ce que le courant ait produit dans la bobine le renversement des polarités dans les appendices de fer entre lesquels oscille l'armature polarisée.

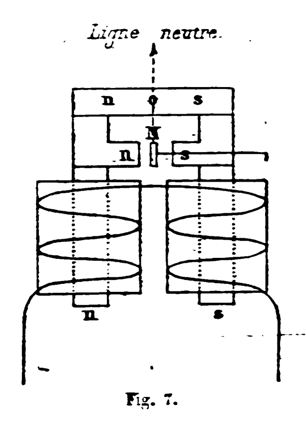


Fig. 7.

C'est surtout sur les lignes ayant une grande capacité comme les lignes souterraines à grande distance, que les effets dus au magnétisme condensé sont appréciables. Après quelques heures de fonctionnement sur des lignes de cette nature, il n'est pas rare de constater que les fers doux de certains électro-aimants sont complètement polarisés par la décharge résiduelle des câbles. De là l'impossibilité d'obtenir un fonctionnement régulier malgré les modifications apportées au réglage.

Depuis longtemps on s'est préoccupé de faire disparaître le magnétisme rémanent dans les réactions des électro-aimants. Tous les moyens employés n'ont eu pour effet que de détruire plus ou moins le magnétisme rémanent proprement dit, mais non la condensation magnétique.

Dans les recherches que j'ai faites dans cette voie, je me suis préoccupé, non pas de faire disparaître le magnétisme résiduel ou condensé des électro-aimants, mais de donner à ceux-ci une disposition telle, que les effets dus à la condensation magnétique soient sans action sur le système d'armature.

Le relais que j'ai établi d'après ce principe est caractérisé par la disposition et les propriétés particulières de son électro-aimant.

La *fig.* 8 représente la disposition de l'électro-aimant et des fers doux soumis à l'action de l'hélice magnétisante. La forme donnée au fer doux est celle d'un fer à cheval, avec adjonction d'appendices polaires A, B, C, D, également en fer doux placés à l'extrémité et du côté de la culasse.

Deux armatures N, S, solidement fixées sur un axe vertical en cuivre oscillent entre les appendices de fer

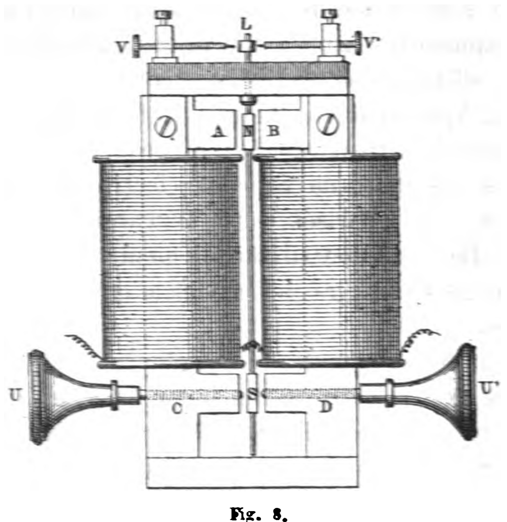


Fig. 8.

doux de l'électro-aimant (*fig.* 8). Elles sont polarisées par un aimant artificiel E (*fig.* 9) placé à une très petite distance. Une tige de contact L fixée à l'extrémité supérieure de l'axe, oscille entre deux vis de réglage V V'.

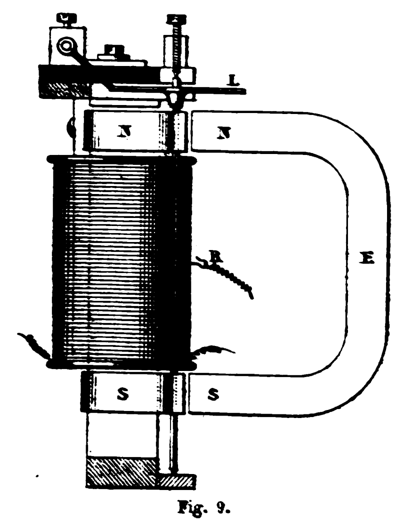


Fig. 9.

Deux vis de fer doux U U' sont ajustées dans deux trous taraudés dans les appendices C D, du côté de la culasse. Enfin, un ressort à boudin R (*fig.* 9) est fixé d'un côté à un petit cro-

chet sur l'axe en cuivre, de l'autre sur une petite masse en cuivre qui est actionnée par une tige taraudée munie d'un bouton.

Pour bien comprendre le fonctionnement de ce système électro-magnétique et se rendre compte des avantages qu'il présente sur ses devanciers, il suffira de faire connaître la distribution du magnétisme dans le fer doux de l'électro-aimant lorsque celui-ci est soumis à l'action de l'hélice magnétisante et d'en déduire l'action mécanique produite sur les deux armatures polarisées solidaires d'un même axe.

Lorsqu'un courant traverse l'électro-aimant, il produit sur les appendices de fer doux des polarités inverses à chacune des extrémités de la bobine pour un même côté de l'électro-aimant (*fig.* 10). Sous l'influence des quatre pôles développés aux appendices de fer doux entre lesquels oscillent les armatures, l'axe solidaire de celles-ci est soumis à des forces parallèles qui provoquent le mouvement de rotation de droite à gauche.

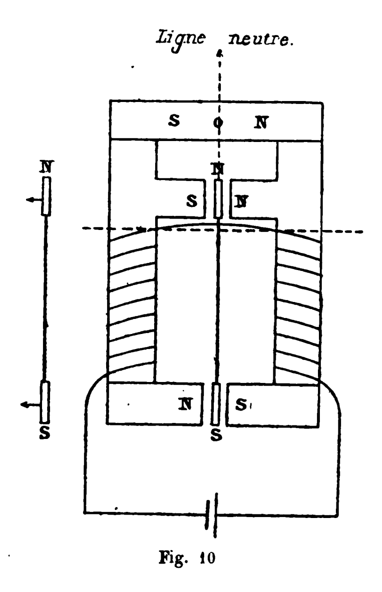


Fig. 10

A la rupture du circuit, la recomposition magnétique s'opère à la ligne neutre principale au milieu de la culasse (*fig.* 11). La polarité, développée dans les appendices de fer doux du côté de la culasse, est ren-

versée par l'effet de cette recomposition, il ne reste plus dans le fer doux que le magnétisme rémanent et de même nom pour un même côté de l'électro-aimant. Il est facile de voir par l'inspection des *fig.* 11 et 12 que cette force magnétique résiduelle produit l'effet d'un couple sans action au point de vue mécanique sur l'axe des armatures.

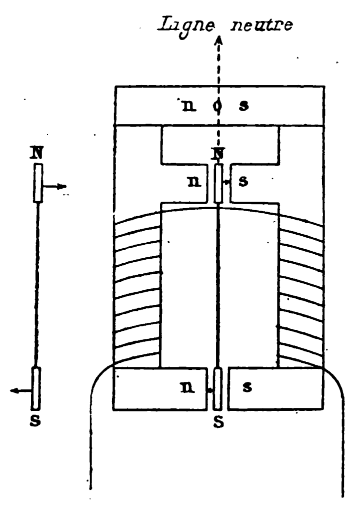


Fig. 12. Fig. 11.

Les armatures seront ramenées à l'état de repos par l'effet du ressort à boudin fixé sur l'axe et dont la tension est réglée d'après la force du courant.

Pour que le magnétisme résiduel ou condensé soit sans action sur l'axe des armatures, il est nécessaire que la force magnétique résiduelle sur l'appendice du côté de la culasse soit égale à celle de l'extrémité symétrique de l'électro-aimant. Or, cette force va en décroissant depuis l'extrémité jusqu'à la ligne neutre. C'est pour rendre égale l'action mécanique produite sur les deux armatures par des forces magnétiques inégales que deux vis en fer doux U U′ (*fig.* 8) ont été ajustées dans les appendices du côté de la culasse. L'intervalle qui sépare ces derniers de l'armature est plus petit, et comme les forces magnétiques agissent en raison inverse du carré de la distance, il devient dès lors facile d'équilibrer très exactement par la position des vis

de fer doux l'action du magnétisme rémanent et condensé de manière à rendre son effet nul sur l'axe.

Pour obtenir à nouveau le fonctionnement du relais, il sera nécessaire de produire le renversement des polarités du côté de la culasse. L'expérience démontre que, pour obtenir ce renversement avec les électro-aimants du modèle adopté pour les translateurs, il faut que le courant ait une intensité supérieure à *un milliampère.*

Lorsque l'électro-aimant est traversé par un courant d'une intensité inférieure à un milliampère, la polarité des appendices de la culasse ne change pas; ce courant est par conséquent sans action sur l'axe des armatures, comme le montrent les *fig.* 13 et 14.

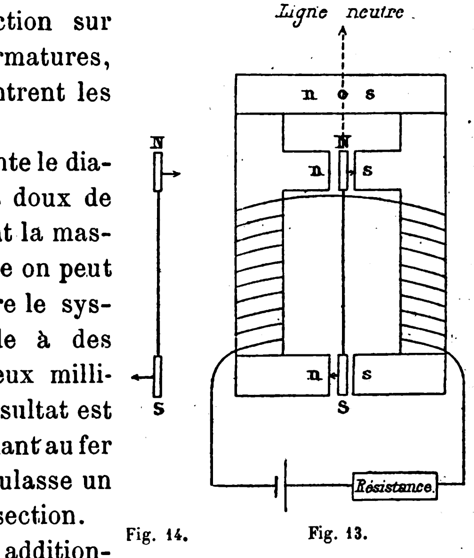


Fig. 14. Fig. 13.

Si on augmente le diamètre des fers doux de l'électro-aimant la masse de la culasse on peut arriver à rendre le système insensible à des courants de deux milliampères. Ce résultat est obtenu en donnant au fer doux et à la culasse un centimètre de section.

La masse additionnelle de fer adoptée du côté de la culasse n'est pas soumise à l'action directe de l'hélice magnétisante. La polarité développée de ce côté de l'électro-aimant est produite par l'influence de la bobine et à une certaine

distance. Plus la masse de la culasse sera forte et plus elle sera éloignée de la bobine, plus il faudra un courant énergique pour renverser la polarité dans cette partie de l'électro-aimant.

La masse adoptée pour les relais translateurs correspond comme sensibilité à l'action d'un courant de un milliampère. Ces relais ont été établis en vue de leur emploi sur les lignes souterraines à grande distance et sur les longues lignes aériennes.

Les observations faites sur les lignes souterraines ont révélé l'existence de courants naturels d'intensité et de direction variables, mais n'atteignant que rarement une intensité supérieure à un milliampère, par conséquent sans action sur les électro-aimants des relais translateurs.

Les effets magnétiques indiqués ci-dessus peuvent être vérifiés expérimentalement au moyen d'une aiguille aimantée mobile sur une pointe. Toutefois, certaines précautions doivent être prises dans l'exploration de la distribution magnétique de l'électro-aimant. Il faut avoir soin de placer le pôle de l'aiguille à une distance convenable des appendices de l'électro-aimant afin d'éviter l'action puissante de la masse de fer sur l'aiguille; la force magnétique développée doit agir seule sur le pôle de l'aiguille amenée en présence.

Le relais translateur est complété par un parleur qui a pour fonction de donner le contrôle de la translation et d'établir la ligne directement à la terre après chaque émission.

Jusqu'en 1887, la mise à la terre, après chaque émission, était produite par l'intermédiaire du coup de fouet, effet particulier à l'électro-aimant d'Arlincourt. Depuis cette époque, la décharge se fait par l'intermé-

diaire du parleur de contrôle. Elle est basée sur la différence de rappel au repos des armatures du translateur et du parleur embroché sur la pile de ligne de translation.

Ce parleur, d'un modèle récent, est approprié au double but qu'il a à remplir (*fig.* 15). La masse de fer doux qui entre dans la construction de l'électro-aimant et de l'armature est plus forte que dans les systèmes

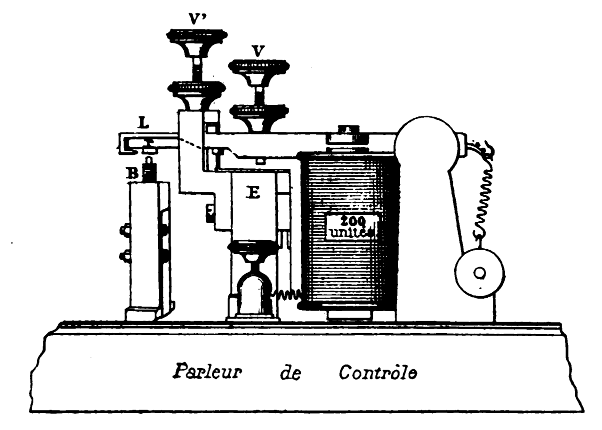


Fig. 15.

ordinaires. L'extrémité du levier L qui supporte l'armature porte une entaille dans laquelle est fixé un ressort-lame très flexible *r* par lequel s'effectue la mise à la terre de la ligne au moment où le courant cesse.

Une forte vis V traverse le levier-support de l'armature et vient frapper avec énergie sur une sorte d'enclume métallique E, de sorte que l'on peut entendre très distinctement le fonctionnement du relais même dans une salle où il existe un grand nombre d'appareils Hughes en fonction.

La course du levier de l'armature est limitée au moyen des vis V et V'.

Voici comment s'effectue la mise à la terre :

La pile de ligne traverse les bobines du parleur avant d'aboutir à la vis de contact de travail du relais de translation. La vis de contact de repos du translateur est reliée en dérivation à la vis-butoir B sur laquelle vient appuyer le ressort lame du levier du parleur (*fig.* 15); cette vis est réglée à une très petite distance du ressort. Pendant l'envoi du courant sur la ligne, la vis de repos du translateur se trouve donc en communication directe avec la terre (voir la Pl. des communications).

Aussitôt que le courant cesse, l'axe des armatures du translateur est rappelé instantanément sur la vis de repos. Cet axe communique avec la ligne par le massif. L'armature du parleur est maintenue au contact un instant après par l'effet du magnétisme rémanent et aussi par la recomposition de l'extra courant direct à travers la bobine de dérivation qui relie l'entrée et la sortie des bobines de l'électro-aimant du parleur.

Le courant de retour provenant de la ligne sur laquelle une émission a été envoyée, s'écoule directement à la terre par l'axe des armatures, la tige de contact L (*fig.* 9), la vis de contact de repos du relais de translation et la dérivation établie de ce point à la vis-butoir du parleur en communication en ce moment avec le ressort-lame du levier de l'armature du parleur.

On voit que, dans le parleur, le magnétisme rémanent est mis à contribution pour décharger la ligne. Ce procédé n'est du reste pas nouveau, il a été em-

ployé par Schwendler, en 1869, sur les longues lignes de l'Inde anglaise.

Les communications électriques du relais translateur sont indiquées dans une planche annexée à cette notice. La disposition électro-magnétique du relais translateur a été réalisée en 1881.

RÉGLAGE GÉNÉRAL DU RELAIS DE TRANSLATION.

1° Ramener le ressort à boudin R dans la ligne médiane ou à zéro (*fig.* 9). Pour un réglage primitif, il est bon de le détacher du crochet de l'axe de l'armature.

2° Nettoyer les contacts des vis V V′ et du levier de l'armature avec du papier émeri double zéro. Avoir soin de passer le papier dans les deux sens pour faire disparaître la poussière d'émeri qui pourrait rester sur les contacts.

3° Dévisser les vis de contact V V′ et vérifier si l'axe des armatures oscille librement entre ces deux vis.

4° Placer l'aimant à $1^{mm},5$ environ des armatures (*fig.* 9). Il est très important que les pôles de l'aimant ne touchent pas les armatures N S. Ce défaut occasionnerait un frottement qui intercepterait le mouvement de l'axe des armatures.

5° Les leviers de contact des armatures doivent se trouver au repos sur la vis intérieure du relais (V. la planche des communications). La position de cette vis est déterminée de la façon suivante : Après avoir dévissé les deux vis V V′ de manière à avoir un très grand jeu entre les deux, amener avec le doigt le levier de l'armature du côté de la vis extérieure V′. Enfoncer cette vis V′ jusqu'à ce que le levier aille de lui-même se jeter sur la vis intérieure V. Rapprocher ensuite

cette vis V pour laisser le moins de jeu possible entre les deux vis de contact. La meilleure position à donner à ces vis est celle qui correspond au placement des armatures dans la ligne médiane de séparation des appendices de fer doux de l'électro-aimant de translation. Cette position est obtenue en dévissant légèrement la vis V′ lorsque l'armature est allée se jeter sur la vis V. Dans ces conditions, l'armature resterait sur la vis de contact où elle aurait été amenée soit avec le doigt, soit par l'effet d'un courant. Il faudrait alors employer les deux courants pour la ramener sur la vis de repos V.

Le ressort à boudin R placé sur l'axe des armatures remplit l'office de courant inverse. Tendre ce ressort jusqu'à ce que l'axe des armatures revienne franchement sur la vis V, attendre ensuite le courant du correspondant pour juger s'il y a lieu de tendre à nouveau ce ressort ou de le détendre. Si la transmission est collée, tendre le ressort R; si au contraire elle est maigre, détendre le ressort. C'est le réglage de l'appareil Morse.

Les vis U U′ en fer doux du relais de translation sont réglées une fois pour toutes; elles doivent dépasser de 1/2 millimètre environ les appendices de fer doux entre lesquelles oscille l'une des deux armatures.

Les fiches du commutateur d'orientation doivent être placées sur le signe du courant envoyé par le correspondant.

RÉGLAGE DU PARLEUR DE CONTROLE ET DE DÉCHARGE.

L'axe qui supporte le levier de l'armature doit osciller librement et sans jeu entre les vis qui lui ser-

vent de pivot (*fig.* 15 et planche des communications).

L'armature doit être aussi rapprochée que possible des extrémités polaires de l'électro-aimant dans la

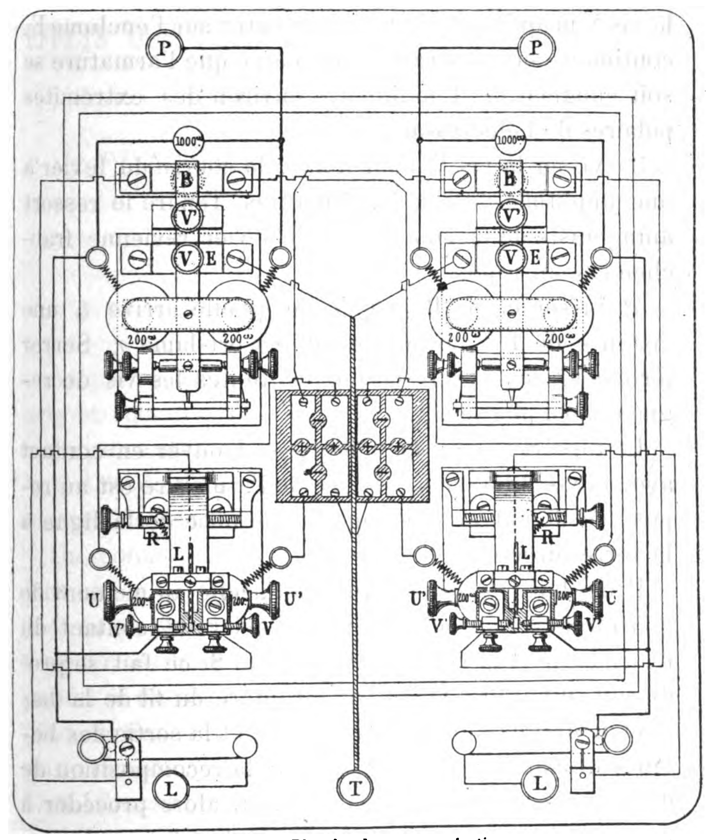


Fig. 16. — Planche des communications.

position de travail sans toutefois être en contact. La course du levier de l'armature est limitée par les vis V V' (*fig.* 15).

Procéder de la façon suivante :

1° Dévisser suffisamment les contre-écrous et les vis V V′.

2° Amener à la main l'armature en contact avec les extrémités polaires de l'électro-aimant, visser ensuite la vis V jusqu'à ce qu'elle vienne buter sur l'enclume E, continuer cette opération jusqu'à ce que l'armature se soit éloignée de 1 millimètre environ des extrémités polaires de l'électro-aimant.

3° Visser la vis V′ pour limiter la course du levier à une amplitude de 5 à 6 millimètres. Tendre le ressort antagoniste de façon à ce que le levier revienne franchement au repos.

4° Visser la vis B jusqu'à ce qu'elle arrive à une distance de 1/2 millimètre du ressort-lame *r*. Serrer fortement les contre-écrous de toutes les vis de réglage ainsi placées.

Le ressort-lame *r* ne doit pas se trouver en contact avec la vis B lorsque le levier de l'armature est au repos, ce défaut occasionnerait une mise de la ligne à la terre directe.

Il ne doit pas se produire d'étincelle au moment de la rupture du circuit entre le levier de contact du translateur et la vis de prise de pile. Si ce fait se produisait, il aurait pour cause la rupture du fil de la bobine de dérivation qui relie l'entrée et la sortie des bobines du parleur de contrôle pour la recomposition de de l'extra-courant direct. Il faudrait alors procéder à une vérification de cette bobine et la réparer le cas échéant.

WILLOT.

NOTE

SUR LES

EFFETS QUE PRODUISENT DANS UN MICROPHONE

A UN SEUL CONTACT

LA NATURE ET LA MASSE DES ÉLECTRODES ET LA VARIATION DE PRESSION ENTRE CES DEUX ÉLECTRODES

Au mois d'avril dernier, à l'Académie américaine des arts et sciences, M. Charles Cross, professeur de physique, a rendu compte d'expériences faites par lui, en vue d'étudier l'amplitude des mouvements des deux électrodes dans un microphone à un seul contact.

On connaît le principe de ces appareils, très usités en Amérique : une pointe en charbon ou en platine (marteau) sur laquelle vient reposer un bloc de platine (enclume), suspendu à une tige qui peut osciller dans un plan vertical. Le tout est monté sur une plaque vibrante.

M. Cross, pour pouvoir apprécier le mouvement vibratoire des électrodes, s'est servi d'un procédé stroboscopique.

Voici quel est le principe de ce mode d'expérimentation et en quoi consiste l'artifice employé :

Si, entre l'œil et un corps vibrant, on interpose un

disque percé d'ouvertures équidistantes et tournant à une certaine vitesse, les vibrations ne sont visibles que par intervalles, et, d'une apparition à la suivante, la phase a généralement changé. La persistance des impressions lumineuses sur la rétine fait que les phases, successivement visibles, se composent pour former des vibrations apparentes, que l'on peut ralentir en réglant la vitesse du disque.

Soit un corps à n vibrations, visible m fois par seconde. Si $n = mx$, x étant un nombre entier; il y aura toujours x vibrations exactement entre chaque apparition, le corps sera vu toujours dans la même phase, il paraîtra donc immobile. Mais si nous modifions m de façon que $n = mx \pm y$, la phase à chaque apparition change de $\pm y$; le corps est vu successivement dans différentes phases, il semble donc vibrer dans toute son amplitude, avec une vitesse aussi ralentie qu'on le désire.

Voici comment M. Charles Cross a réalisé l'expérience :

Les électrodes se détachent dans le champ d'un microscope, éclairées au moyen d'une lentille qui concentre sur elle la lumière produite par les étincelles d'extra-courant d'un interrupteur Helmholtz à mercure. Cet interrupteur est commandé par un diapason vibrant à 128 doubles vibrations par seconde.

Pour actionner le microphone, on se sert d'une soufflerie et d'un tuyau d'orgue donnant $128 \times 2 = 256$ vibrations par seconde.

La plaque vibrante était en mica, et on n'employait qu'un seul élément Leclanché.

Si, dans ces conditions, on fait une observation au microscope, les électrodes paraissent immobiles; elles

sont, en effet, toujours aperçues pendant la même phase de leur mouvement vibratoire; mais si, en masquant en partie l'ouverture du tuyau, on vient à altérer légèrement la hauteur du son émis par lui, l'étincelle de l'interrupteur éclaire chaque fois une phase différente de la vibration, et les électrodes paraissent s'écarter et se rapprocher lentement ; il y a lieu toutefois de remarquer que les déplacements de l'enclume dans ce microphone sont tellement faibles que l'on ne peut les observer ; il n'en est pas de même avec la disposition du Blake.

En modifiant la distance entre la source sonore et le microphone, on fait varier l'intensité du son reçu dans le microphone et par suite l'amplitude des vibrations des électrodes. Le microphone agit sur le circuit primaire d'une bobine d'induction. Un récepteur est placé sur le circuit secondaire de cette bobine, et l'on étudie parallèlement les variations de l'amplitude des vibrations des électrodes et les variations de la qualité du son dans le récepteur.

Si l'on augmente progressivement l'intensité du son qui vient frapper le microphone, il arrive un moment où le son perçu dans le récepteur est subitement altéré ; à ce moment, on atteint ce que l'auteur appelle le point critique.

M. Charles Cross a recherché l'écart maximum que pouvaient prendre les deux électrodes : enclume et marteau, sans que ce point critique fût atteint. Dans ces différentes séries d'expériences, il faisait varier la nature des électrodes, leur masse ainsi que la pression qui existe entre elles.

Les conséquences auxquelles l'expérimentateur est arrivé peuvent se résumer ainsi qu'il suit :

1° Lorsque l'on augmente progressivement la masse de l'enclume, le point critique correspond à des vibrations de plus en plus amples des électrodes, et l'amplitude des vibrations progresse d'abord plus rapidement que la masse de l'enclume, pour atteindre bientôt un maximum et s'y maintenir. La progression est moins rapide lorsque les deux électrodes sont en charbon que lorsque l'une des deux ou toutes les deux sont en platine. En outre, le maximum est plus élevé lorsque l'enclume est en charbon et le marteau en platine que lorsque tous les deux sont ou de charbon ou de platine.

2° Lorsque l'on augmente progressivement la pression entre les deux électrodes, le point critique correspond encore à des vibrations de plus en plus amples des électrodes, et l'amplitude de ces vibrations progresse d'abord plus rapidement que la pression entre les électrodes, pour atteindre promptement un maximum et s'y maintenir. Mais la progression est moins rapide lorsque les deux électrodes sont en platine, et plus rapide lorsque l'une est en platine et l'autre en charbon. On obtient un résultat intermédiaire avec deux électrodes en charbon. Enfin le maximum est plus élevé lorsque les deux électrodes sont en platine.

Quelques chiffres, en terminant, pour donner une idée des mouvements relatifs des électrodes dans un microphone du genre de ceux qui ont servi aux essais.

1° La pression étant maintenue la même et la masse de l'enclume changeant seule, on trouve dans une première série d'expériences, par exemple :

ÉCART des électrodes au point critique en millimètres	MASSE de l'enclume en grammes	NATURE de l'enclume	NATURE du marteau	OBSERVATIONS
$3^{mm} \times 10^{-4}$	4	Charbon	Platine	
$12,5 \times 10^{-4}$	12,5	id.	id.	Course maximum, reste fixe pour de nouvelles augmentations de la masse.
$4,5 \times 10^{-4}$	8,5	Charbon	Charbon	
9×10^{-4}	13	id.	id.	Idem.
3×10^{-4}	7,65	Platine	Platine	
$12,5 \times 10^{-4}$	12,5	id.	id.	Idem.

2° Si, au contraire, sans modifier la masse de l'enclume, on augmente la pression entre les deux électrodes, on relève dans une deuxième série d'expériences :

ÉCART des électrodes au point critique en millimètres	PRESSION en grammes	NATURE de l'enclume	NATURE du marteau	OBSERVATIONS
$2,5 \times 10^{-4}$	0,34	Platine	Platine	
15×10^{-4}	2,50	id.	id.	Course maximum, reste fixe pour de nouvelles augmentations de pression.
2×10^{-4}	0,297	Charbon	Charbon	
9×10^{-4}	0,960	id.	id.	Idem.
2×10^{-4}	0,184	Charbon	Platine	
$3 - 10^{-4}$	0,288	id.	id.	Idem.

Enfin, dans une autre série d'expériences dans lesquelles on avait un microphone dont l'enclume était de charbon et le marteau de platine, pour un écart des électrodes de $7^{mm},5 \times 10^{-4}$, le son produit dans le récepteur était encore bon; le point critique correspondait à 15 millimètres $\times\ 10^{-4}$, et il y avait rupture de circuit pour 20 millimètres $\times\ 10^{-4}$. Le son est d'ail-

leurs d'autant meilleur que les déplacements des électrodes sont moindres (*).

E. MASSIN.

(*) Les *Annales télégraphiques* de septembre-octobre 1882, p. 477, ont reproduit un extrait des *Comptes rendus de l'Académie des sciences*. M. Salet a mesuré l'amplitude des vibrations d'une plaque de récepteur téléphonique, en plaçant sur la plaque deux petits disques de verre produisant des anneaux de Newton, et en examinant le déplacement des anneaux à travers un disque percé de fentes et sur lequel on souffle. Lorsque le disque, en tournant, rend un son qui est à l'unisson avec celui de la plaque du récepteur, on voit les anneaux de Newton se déplacer lentement. M. Salet trouva ainsi que l'amplitude des vibrations était de 3×10^{-4} environ.

CHRONIQUE.

Sur l'électromètre balistique.

Note de M. Gouy.

L'électromètre à quadrants peut être employé comme appareil balistique, si l'on supprime l'amortisseur à liquide en suspendant l'aiguille par un fil métallique. L'aiguille étant au repos, si l'on fait agir un couple C de courte durée, l'écart maximum est proportionnel à $\int C\,dt$. En appelant V la variation du potentiel en un point donné, on peut mesurer ainsi $\int V\,dt$ et $\int V^2\,dt$, en établissant les mêmes liaisons que dans les mesures statiques ordinaires.

Supposons, par exemple, que, l'aiguille étant maintenue au potentiel V_0, un des quadrants soit relié à la terre et l'autre au point considéré, où le potentiel est nul, sauf pendant un temps très court. Soit α_1 l'écart de l'aiguille, et soit α_2 cet écart dans une seconde expérience faite de même, mais en intervertissant les quadrants; on aura, en désignant par K une constante,

$$\int V\,dt = \frac{\alpha_1 - \alpha_2}{2KV_0}. \tag{1}$$

Si le point considéré est relié à la terre par une résistance R et qu'on y fasse passer une quantité Q d'électricité en un temps très court, on a, quel que soit le coefficient de self-induction de la résistance R,

$$\int V\,dt = RQ. \tag{2}$$

Si la résistance R est le siège d'une force électromotrice E de courte durée, par exemple si elle est constituée par une bobine d'induction, on a

$$\int V\,dt = \int E\,dt, \tag{3}$$

et la valeur de R n'intervient plus.

Enfin, si la résistance R est dépourvue de self-induction, on a

$$(4) \qquad \int V^2 dt = RW,$$

en désignant par W l'énergie électrique dissipée dans la résistance R.

Des expériences relatives à la formule (2) ont été faites avec un électromètre Mascart, dont l'aiguille est suspendue par un fil de platine de $0^{mm},02$ de diamètre et chargée par une pile de 300 volts. Un microcoulomb dans un méghom donne un écart d'environ 130 millimètres, sur une échelle à 2 mètres. La durée d'oscillation de l'aiguille est de $11^s,6$; les oscillations s'amortissent assez rapidement par la résistance de l'air. En installant l'instrument avec quelque soin (*), les erreurs accidentelles se réduisent aux erreurs de lecture, et la formule (2) se vérifie d'une manière satisfaisante, tant que le produit de la capacité du condensateur employé, en microfarads, par la résistance R en méghoms, ne dépasse pas 1/5; au delà, la durée de la décharge intervient et diminue l'écart, conformément à la théorie générale des appareils balistiques.

Ce dispositif permet donc de mesurer R, si l'on opère avec un condensateur de charge connue. La méthode peut convenir pour mesurer de grandes résistances, depuis 100.000 omhs, et présente ce caractère de ne mettre en jeu qu'une très petite quantité d'électricité, ce qui permettrait d'éviter la polarisation pour des résistances liquides (**).

On peut aussi mesurer une quantité d'électricité avec une résistance R constante; l'appareil joue alors le rôle d'un galvanomètre balistique, mais peut atteindre une sensibilité su-

(*) On a grand avantage à protéger l'appareil contre les mouvements de l'air et les variations de température, en le couvrant d'une caisse de bois fermée par une glace parallèle

(**) Si R est supérieur à 200 mégohms environ, l'amortissement est un peu augmenté, comme on pouvait le prévoir; il faut alors le mesurer et effectuer la petite correction nécessaire. Avec certaines valeurs de R, très supérieures à celle-ci, l'instrument devient presque apériodique; on peut mettre à profit cette remarque pour ramener plus rapidement l'aiguille au repos après une mesure. Le même principe pourrait être appliqué à créer un amortissement dans l'électromètre pour son usage statique, en reliant les quadrants aux conducteurs étudiés par de grandes résistances de valeur convenable.

périeure en donnant à R une grande valeur. On peut ainsi mesurer des capacités très variées, sans avoir besoin de déterminer celle de l'électromètre, comme l'exigent les méthodes électrométriques statiques.

Enfin, d'après la formule (4), l'appareil peut jouer le rôle d'un électrodynamomètre balistique.

L'électromètre à quadrants peut donc être utilement employé, dans certains cas, comme instrument balistique, et je me propose de l'appliquer à l'étude de quelques questions relatives aux décharges électriques.

(*Comptes rendus*, séance du 2 juin 1890.)

Sur les caractères de l'acier employé pour la fabrication des aimants permanents.

Dans la discussion qui suivit l'adresse présidentielle de M. le docteur Hopkinson à l'*Institution of Electrical Engineers*, M. Preece fit remarquer que la qualité de l'acier fabriqué en Angleterre allait en déclinant, et qu'elle n'était pas comparable à celle que l'on produisait en France en 1881. Ces affirmations furent alors mises en doute, et ces doutes engagèrent M. Preece à entreprendre une série de recherches expérimentales sur les différents aciers à aimant actuellement sur le marché. Les principales usines de Sheffield fournirent des spécimens : MM. Joseph Ashforth and C°; MM. Saunderson Brothers and C°; MM. Thos. Jowitt and Sons; MM. Vickers, Sons and C°, et M. G.-P. Wall.

M. Trotin fournit à M. Preece des spécimens d'acier de M. Clémandot et de M. Marchal. M. Webb, de Crewe, fournit aussi des échantillons d'acier employé dans ses ateliers.

Les expériences ont été faites par la méthode magnétométrique sur des barres de section carrée ayant approximativement 10 centimètres de longueur et un centimètre de côté. Elles ont été choisies ainsi de préférence aux longs fils ou aux ellipsoïdes que l'on emploie dans les recherches de haute précision, parce que ces barres sont comparables à celles que l'on emploie dans les appareils télégraphiques, que ces dimensions conviennent très bien aux mesures magnétométriques, qu'elles peuvent se placer dans une boussole de

dimensions relativement petites pour les essais périodiques, et qu'elles permettent de comparer les différentes qualités d'acier avec une très grande précision. Bien qu'on ne puisse les assimiler à des solénoïdes, et qu'elles soient beaucoup trop courtes pour prétendre à l'exactitude théorique, les valeurs de l'induction, de l'intensité d'aimantation et du magnétisme spécifique calculées par les moments magnétiques des spécimens, sont suffisamment exactes pour présenter un intérêt scientifique.

Il aurait été désirable, pour faciliter les calculs, que chaque barre eût exactement 10 centimètres de longueur et 1 centimètre carré de section, mais les spécimens reçus n'ont pas pu être ramenés à ces dimensions uniformes. On a donc déterminé avec précision les dimensions et les poids et effectué les calculs.

Tous les spécimens de provenance anglaise ont été soigneusement et uniformément trempés suivant la pratique courante. Sur les quatre aimants d'Allevard, deux ont été trempés à l'eau, et deux au mercure. Les aimants en acier trempé de M. Clémandot et ceux de M. Marchal étaient déjà trempés en arrivant de Paris.

Les barreaux ont été aimantés à l'aide d'un puissant électro-aimant présentant la forme suggérée par M. Perry. Le noyau de cet électro-aimant est enroulé avec 136 spires de fil de $0^{cm},508$ de diamètre, la longueur de la bobine entre les deux joues étant de $9^{cm},3$. Le noyau de fer doux a 10 centimètres de longueur et 3 centimètres de diamètre; les pièces polaires ont $11^{cm},5$ de longueur et 3 centimètres de côté. La pièce polaire supérieure, qui est mobile et peut être remplacée par une autre de forme appropriée pour produire l'induction maxima dans un barreau donné, est munie d'une vis à molette et d'un bloc mobile, de sorte que les barreaux à aimanter peuvent être solidement fixés, en prenant bien soin que leurs extrémités soient en contact parfait avec les pièces polaires.

Dans la première série d'expériences, le courant employé était de 100 ampères (13.600 ampère-tours) et maintenu pendant 30 secondes. Dans la seconde série d'expériences, le courant a été atteint à 435 ampères (44.200 ampère-tours) et a été maintenu 3 secondes. En général, cette augmentation de cou-

rant n'a pas augmenté le magnétisme permanent des barreaux; il paraissait au contraire légèrement plus petit que trois mois auparavant, avec l'aimantation produite par le courant de 100 ampères. L'aimantation des aciers de M. Clémandot et de M. Marchal avait cependant considérablement augmenté par ce traitement, ainsi que le montrent les tableaux résumant les expériences.

Si l'on place les aimants les plus puissants de chaque groupe dans la seconde série d'expériences et qu'on les dispose par ordre, on a les résultats suivants :

Provenance des aimants	Induction $\mathfrak{B}$
Marchal n° 1	2835
Clémandot n° 1	2362
Allevard n° 3 (trempe à l'eau)	1879
Ashforth n° 4	1779
Jowitt n° 2	1745
Wall n° 4	1689
Saunderson n° 1	1610
Alleward n° 2 (trempe au mercure)	1528
Crewe (ressort) n° 1	1436
Vickers n° 2	1297
Crewe (rivet) n° 3	217

Si l'on prend, au contraire, l'induction moyenne pour les aimants de chaque groupe, ce qui est une méthode de comparaison plus équitable, on obtient une classification un peu différente :

Provenance des aimants.	Induction moyenne $\mathfrak{B}$
Marchal	2540
Clémandot	2265
Ashforth	1704
Allevard (trempe à l'eau)	1660
Wall	1519
Jowitt	1503
Saunderson	1435
Crewe (ressort)	1391
Allevard (trempe au mercure)	1315
Vickers	1174
Crewe (rivet)	186,6

La supériorité marquée des aimants de Marchal sur ceux fabriqués avec l'acier anglais ne saurait évidemment être attribuée à la méthode d'aimantation adoptée par le fabricant,

puisque l'induction moyenne a augmenté de 38 p. 100 et est devenue plus uniforme par la réaimantation. La plus grande intensité d'aimantation doit donc être attribuée, soit à la qualité du métal, soit à la trempe, et très probablement à la trempe. L'acier comprimé de M. Clémandot, qui était également très faible lors des premiers essais, a eu son induction moyenne plus que doublée par la réaimantation. En présence des résultats de ces expériences M. Preece se propose de faire de nouvelles recherches sur les procédés de trempe des aciers. Il est évident que la pratique actuelle laisse le champ libre pour des perfectionnements.

L'induction de ces barreaux très courts est comparativement peu élevée, car par la méthode magnétométrique on ne mesure que l'effet du flux de force rayonnant des extrémités. M. le professeur Perry est arrivé à obtenir des inductions de 12.700 avec de l'acier de Jowitt à travers la section moyenne, avec des barreaux en fer-à-cheval d'une forme spéciale. Il serait possible d'atteindre une induction de près de 20.000 avec le meilleur acier français, dans les mêmes conditions.

M. Preece possède deux aimants en fer-à-cheval en acier d'Allevard fabriqués par M. Edmunds et aimantés à Paris en 1881. L'induction de l'un d'eux est actuellement de 3287,3 et celle de l'autre de 3552,5. Ils n'ont jamais été touchés depuis 1881. Ils conservent donc bien l'aimantation. Toutes les mesures ont été faites avec beaucoup de soin et d'habileté par M. Henry Hartnell.

(L'*Électricien*, 27 septembre 1890.)

Sur une nouvelle lampe de sûreté pour les mines.

Note de M. Charles POLLAK.

Voici la description succincte de cette lampe :

« Une boîte rectangulaire en ébonite renferme des accumulateurs système Pollak (*); elle repose sur un plateau métallique. Un couvercle en ébonite sert de support à une lampe à

(*) Présenté à l'Académie le 17 mars 1890.

incandescence qui est enfermée dans un cylindre en verre épais. Le tout est recouvert d'un chapiteau métallique serré au moyen de boulons. Une feuille en caoutchouc doux, interposée entre le couvercle et la boîte, rend la fermeture hermétique. Dans le couvercle, sont noyées des tiges en métal inoxydable, qui le percent d'outre en outre; elles portent, sur leurs bases, des contacts en platine qui s'appliquent sur des contacts de platine des accumulateurs, et, sur leurs sommets, des ressorts, dont l'un est relié métalliquement avec un pied de la lampe. L'autre pied de la lampe est isolé et peut être mis en contact avec un pôle de l'accumulateur, au moyen d'une aiguille que l'on introduit dans un canal horizontal pratiqué dans le couvercle.

« Les contacts se trouvant à l'intérieur de la boîte et du couvercle, ni l'ouverture, ni la fermeture du courant ne peuvent déterminer d'explosion. Donc, la lampe peut être allumée ou éteinte dans une atmosphère inflammable. En démontant le système ou en cassant le cylindre protecteur en verre, on amène l'extinction de la lampe.

« On charge la lampe, sans la démonter, au moyen d'une fourche qu'on introduit dans deux canaux pratiqués dans le couvercle.

« Le modèle existant pèse 1^{kg},800 environ et donne, en moyenne, douze heures d'une lumière parfaitement constante, dont la puissance est de 0,7 à 0,8 de bougie. »

(*Comptes rendus*, 29 septembre 1890.)

Sur la question du raccordement des paratonnerres aux conduites de gaz et d'eau.

Par M. le professeur NEESEN.

La question du raccordement des paratonnerres aux réseaux de conduites de gaz et d'eau n'a pas encore reçu la solution désirée et attendue par les électrotechniciens. Si cette solution ne dépendait que d'eux, elle ne se ferait pas attendre ; mais elle dépend surtout des ingénieurs gaziers et hydrauliciens qui se sont toujours montrés hostiles au raccordement. Cette hostilité s'est de nouveau manifestée à l'assemblée générale

des gaziers et des hydrauliciens allemands, tenue à Stettin en juin 1889, laquelle a voté la résolution suivante à ce sujet :

« L'assemblée déclare que le raccordement des paratonnerres aux tuyaux de conduite de gaz et d'eau ne répond pas à un besoin reconnu, et qu'il ne pourrait en général être recommandé, à cause de raisons pratiques intéressant les exploitations de gaz et d'eau. »

Les arguments développés à l'assemblée de Stettin ont été reproduits depuis dans le *Schilling's Journal.*

On nie d'abord que les dangers de la foudre soient plus grands pour les maisons qui renferment des conduites de gaz et d'eau. M. Schilling ajoute que ce sont, au contraire, les paratonnerres qui augmentent le danger, à cause de leur mauvais établissement. Le raccordement serait directement dangereux, parce que rien ne garantit la permanence du bon état du paratonnerre et de sa liaison au réseau des conduites; parce que, de plus, rien n'assure que les tuyaux offriront constamment une communication métallique sans solution de continuité, même si les joints sont faits au plomb; parce qu'enfin les tuyaux ne permettent pas le libre écoulement de la décharge à la terre, à cause de leur revêtement de vernis. Les réparations, ajoute-t-on, donnent lieu à des interruptions de continuité. On insiste particulièrement sur ce fait, que chaque jour, à Berlin, vingt-cinq maisons, au moins, sont coupées de la conduite d'eau ou de gaz de la rue. Le mauvais état du paratonnerre, le contact défectueux des tuyaux entre eux, les interruptions de conduits pour cause de réparations auraient nécessairement pour effet la formation d'étincelles qui endommageraient les tuyaux. Ces détériorations ne seraient pas impossibles si même tout était en bon ordre. Mais ce n'est pas seulement le réseau des conduites que son raccordement aux paratonnerres met en danger, ce sont tous les bâtiments qui s'y trouvent rattachés, parce que la décharge peut pénétrer dans ces bâtiments par les conduits. Un tuyau de gaz ou d'eau non relié au paratonnerre peut même être mis en danger, s'il se trouve une solution de continuité dans la conduite reliée. Enfin, le danger que courent les ouvriers occupés à des réparations d'une conduite reliée, au moment où la décharge d'un éclair la traverserait, est mis en relief.

A côté de ces considérations de fait, on en invoque d'autres qui ont trait au droit de propriété. Obligés d'accepter le raccordement, les propriétaires des conduites d'eau et de gaz abandonneraient leur propriété au public pour un objet qui leur est tout à fait étranger, et la verraient exposée, par les paratonnerres défectueux, à des dangers qui ne proviendraient pas de leur propre fait.

Pour apprécier la valeur de ces arguments, il suffit de se représenter la marche des choses avant, pendant et après un coup de foudre.

Des nuages chargés d'électricité s'approchent d'un bâtiment muni de tuyaux de conduite. Toutes les parties du bâtiment, et particulièrement celles qui sont conductrices, se chargent par influence : l'électricité de nom contraire à celle du nuage se porte vers les parties du conducteur les plus voisines du nuage, tandis que celle de même nom est refoulée. Plus le système conducteur est étendu, plus faible est la résistance au mouvement de l'électricité, et plus prompt est l'écoulement de la décharge électrique, surtout si cette dernière trouve une voie pour se répandre du système conducteur dans la terre. C'est là le principe de l'invention de Franklin, du paratonnerre, dont les adversaires du raccordement n'ont pas encore pu mettre en doute l'efficacité. Mais les conduites d'eau et de gaz ne constituent-elles pas un conducteur relié à la terre par un grand nombre de points ? Ne représentent-elles point un paratonnerre, avec ce seul défaut que s'il n'existe pas de jonction entre la conduite et le paratonnerre existant, l'éclair doit détruire une partie de la maison avant d'arriver aux tuyaux ?

Et ce n'est pas là le seul danger des tuyaux de conduite chargés électriquement. Supposons que le coup de foudre proprement dit les épargne et se dirige vers n'importe quelle autre partie du bâtiment ou du voisinage. Au moment de la décharge atmosphérique, il existe encore une forte accumulation d'électricité dans les tuyaux. Cette charge mise en liberté cherche à se répandre et est conduite en grande partie à la terre. Mais, comme il lui faut le temps de s'écouler, elle agira par influence sur le voisinage pendant ce temps; elle déterminera donc des différences de tension qui se traduiront soit par de nouvelles étincelles électriques, soit par des décharges

latérales, soit par des coups en retour; ces décharges de second ordre se dirigeront de préférence vers les objets qui permettent le mieux à l'électricité de se disperser, c'est-à-dire surtout vers le paratonnerre, s'il en existe un. Mais supposons maintenant qu'une jonction métallique soit établie entre le paratonnerre et la ligne de tuyaux; les deux faits ci-dessus ne peuvent plus se produire, puisqu'il n'existe pas de différence de tension entre les tuyaux et le paratonnerre, et que tuyaux et paratonnerres se déchargent en même temps.

A ces considérations simples, nos adversaires ne pourraient opposer que le nombre faible en apparence, des détériorations de conduites par les coups de foudre. Mais l'on n'a pas collationné les effets d'un grand nombre de coups de foudre à cet égard. Ce qui a été publié jusqu'ici se réduit à des communications d'occasion. Les données récentes que je produirai plus loin feront apparaître les choses sous un jour tout nouveau. Mais, même en en faisant abstraction, et en ne considérant que le petit nombre de cas observés jusqu'à ces derniers temps, et dans lesquels il y a eu détérioration de conduites, le danger apparaît clairement. Ces faits font en outre justice des paroles suivantes prononcées à l'assemblée des gaziers et hydrauliciens à Stettin :

« Le rapport de la commission (des gaziers et hydrauliciens) affirme que toutes les assertions des électriciens ne sont que des hypothèses scientifiques que la statistique n'a pas démontrées. Les électriciens soutiennent, de leur côté, que le fondement de nos craintes est aussi peu démontré par la statistique que ne le sont leurs hypothèses. Les deux partis sont donc, à cet égard, manche à manche. »

Cela n'est pas exact. Car les électriciens peuvent déjà s'appuyer sur un certain nombre de cas observés de détérioration de conduites non reliées aux paratonnerres, tandis que les gaziers et hydrauliciens n'en ont pas un seul à citer à l'appui du contraire.

Du reste, les opinions de nos adversaires varient aujourd'hui selon les circonstances. Quand il s'agit de discourir contre le raccordement, ils parlent des dangers auxquels la foudre expose les conduites; mais s'il est question de ceux que la présence des tuyaux fait courir aux bâtiments, ils affirment qu'il n'y en a pas.

D'un côté, donc, absence prétendue de danger pour les tuyaux de conduite non reliés aux paratonnerres; de l'autre, s'il y a raccordement, danger parce qu'il n'existe pas de garantie de la continuité métallique de la conduite, du contact métallique de la conduite avec le paratonnerre, et de la communication de la conduite à la terre interceptée, dit-on, par le vernis dont les tuyaux peuvent être revêtus. Or, les recherches de Kohlrausch ont démontré, qu'en fait, la résistance opposée au courant par les joints des tuyaux est extrêmement minime; en outre, les raisons alléguées tombent complètement si l'on considère que les lois du courant galvanique ne sont pas applicables à des masses d'électricité et à des tensions aussi grandes que celles qui sont en jeu dans la décharge de la foudre. Des justifications à l'appui de ceci nous sont fournies par le parafoudre des télégraphes, dont la résistance galvanique est infiniment grande et qui remplit néanmoins son office, et par la célèbre expérience de Faraday, dans laquelle une forte décharge, au lieu de suivre la partie sinueuse d'un conducteur, saute à travers l'air sous forme d'étincelle. De même, dans l'électroscope à paille, le fêtu de paille n'oppose à la dispersion de l'électricité par influence qu'une très faible résistance, bien que sa résistance galvanique soit très grande. Ces faits acquis démontrent d'abord qu'on exagère énormément l'importance qu'aurait ici une conductibilité assimilable à celles que nécessitent les courants galvaniques et ensuite qu'il est complètement indifférent que les tuyaux enterrés soient ou ne soient pas revêtus de vernis. Bien entendu, je n'entends pas dire par là que je considère un travail négligé ou des solutions de continuité comme permises dans l'établissement des paratonnerres. Dans ces derniers, si quelques petites interruptions ont pu se former, elles s'agrandissent sans cesse par l'effet de la rouille et des secousses pendant les orages jusqu'à ce que tout se disloque et qu'il se produise des interruptions réellement dangereuses; aussi faut-il attacher du prix à ce que le travail soit bien fait. Je dis seulement que l'importance de la continuité métallique ne doit pas être surfaite, surtout dans le cas où — comme dans les conduites de tuyaux — les défauts de conductibilité galvanique qui peuvent exister ne peuvent se transformer, avec le temps,

en grandes solutions de continuité. D'ailleurs, en admettant même que des joints de tuyaux fussent desserrés par une décharge, qu'en pourrait-il résulter? Simplement quelques fuites. Mais qu'est-ce que cela en comparaison des dangers qui peuvent naître de l'absence de jonction?

(*A suivre.*)

BIBLIOGRAPHIE

Revue du Génie (Berger-Levrault et Cᵉ, libraires-éditeurs).

Sommaire de la livraison de septembre-octobre 1890 : I. Rapport de la sous-commission chargée de rechercher et d'étudier à l'Exposition universelle de 1889 les objets, produits, appareils et procédés pouvant intéresser l'armée (sous-commission du génie) : 1° Travaux des troupes du génie; 2° Aérostation (*à suivre*). — II. *Bibliographie*, par L. B. Principes de la fortification antique, par le colonel G. de la Noë. 2ᵉ partie : Fortification romaine et gallo-romaine. — III. *Renseignements divers.* Nivellements de précision. Italie : Travaux de fortification. Pisé de mâchefer.

Bibliothèque polytechnique internationale (E. Bernard et Cᵉ, éditeurs, à Paris).

M. F. de Szczepanski vient de publier, à Saint-Pétersbourg, la première année de la *Bibliotheca polythecnica*, index méthodique et catalogue descriptif des publications techniques (livres et journaux) de France, d'Angleterre, de Belgique, de Suisse, d'Allemagne et d'Amérique. C'est un petit livre de poche, de 80 pages, contenant les titres et sous-titres des diverses publications récentes en langues française, anglaise ou allemande.

La deuxième année de la *Bibliotheca polytechnica* paraîtra en avril 1891.

Gérant : Vᵉ Dunod. — Paris. — Imp. C. Marpon et E. Flammarion, rue Racine, 26.

ANNALES

TÉLÉGRAPHIQUES

Année 1891 Mars-Avril

ÉTUDE

SUR

L'ÉTABLISSEMENT DES RÉSEAUX TÉLÉPHONIQUES

CONSTRUCTION DES LIGNES.

La conférence technique de 1889 avait pour objet l'étude de diverses questions à l'ordre du jour et principalement la construction téléphonique. Bien qu'improvisée cette réunion a permis de coordonner des efforts individuels très intéressants, de mettre en lumière des faits peu connus et de préparer la transformation de l'outillage employé jusqu'à présent en France, en un autre plus approprié aux besoins de l'exploitation. L'Administration avait songé à faire formuler les règles générales de la construction téléphonique, en vue d'uniformiser les installations pour lesquelles elle avait jusqu'alors laissé la plus large initiative aux agents d'exécution. La conférence n'a pas partagé

cet avis; il lui a semblé qu'il convenait de prolonger la période d'essais, en faisant au contraire un plus large appel à l'initiative et à l'observation individuelles. Toutefois, elle a cru devoir orienter les efforts en recommandant spécialement l'emploi du fer pour la confection des appuis téléphoniques.

Ayant eu à construire des réseaux à Besançon et à Dijon, nous avons puisé dans les renseignements recueillis à la conférence, nous y avons ajouté nos efforts personnels et nous avons constitué quelques types de matériel, dont nous allons faire connaître les avantages et les inconvénients.

Grandes artères.

Potelets droits (*) — Ces appuis sont formés de deux fers U (50/25/6) pesant 4 kilogrammes le mètre courant, séparés par plusieurs fourrures (plat 150/50/12) assemblées chacune par deux rivets ($d = 14^{mm}$) posés à chaud, à la presse hydraulique.

Ces appuis (Pl. I) sont de trois longueurs :

$4^m,60$ (45^k environ) dans le voisinage de la tourelle de concentration ou sur des points spéciaux qui nécessitent un exhaussement.

4 mètres en pleine ligne.

$3^m,60$ à la fin des lignes ou sur les artères secondaires.

Ils ont coûté tout galvanisés et pris à l'usine 42 francs les 100 kilogrammes (Forges de Franche-Comté, à Besançon).

Mode de montage. — Ces appuis sont placés soit sur

(*) Voir *Annales télégraphiques*, 1889 : Étude de M. Massin sur le même sujet.

des murs pignons ou de refend, soit sur la charpente des toitures ; dans les maisons habitées, le premier système est préférable ; les murs transmettent moins les vibrations que les pièces de bois.

Pour les murs, on emploie une équerre à scellement et deux pattes à brides.

L'équerre est en fer plat (30/12) recourbé de manière à pénétrer dans les cavités du fer U. Elle supporte le poids de l'appui.

La *patte à scellement* est en fer plat (40/12) percé de quatre trous carrés et recourbé à angle droit à chaque extrémité ; les bouts recourbés sont barbelés pour faciliter le scellement ; les trous reçoivent des boulons à collet carré sur lesquelles on rapporte les brides ; généralement on n'emploie quatre boulons par bride que pour les appuis de $4^{m},60$ et de 4 mètres ; deux suffisent pour les potelets de moindre dimension.

Les équerres et pattes sont scellées avec soin de manière à déterminer un plan rigoureusement vertical.

Le potelet n'est monté que le lendemain du jour de scellement. Le joint est fait au plâtre de Paris si la pièce est à l'intérieur d'un bâtiment, au ciment à prise mi-prompte si elle est exposée à la pluie. Dans l'un et l'autre cas, les interstices sont remplis de fragments de brique de bonne qualité préalablement humectée. Employé par un ouvrier habile, le plâtre de Paris donne un excellent scellement qu'on peut, en cas de nécessité, faire travailler quelques heures après sa confection. Il peut même résister à la pluie et à l'humidité ; toutefois cette construction pouvant laisser quelque incertitude, si les circonstances nécessitent une grande célérité, il est préférable de recourir au joint mixte ; la pièce est scellée au plâtre et le scellement

est recouvert de quelques centimètres de ciment prompt. Cette opération nécessite une certaine habileté.

Les ferrures accessoires permettent de faire des scellements facilement et en toute sécurité ; elles rendent faciles le déplacement et le remplacement d'un appui sans bruit ni dégradation.

Sur les charpentes, l'équerre est supprimée et remplacée par un boulon ou tire-fond de pied, les pattes sont également inutiles ; les brides se fixent directement sur les fermes avec des vis ou des boulons.

Quelquefois, il est nécessaire de rapporter une pièce de bois pour supporter le pied d'un potelet. On emploie alors une solive de sapin de longueur convenable qu'on fixe avec des boulons.

On ne pose jamais un potelet sur une panne faîtière même en le fixant avec des équerres, ce mode d'attache n'a pas paru suffisamment solide pour que des ouvriers puissent monter sans danger au sommet des appuis ; l'encastrement normal est de 1 mètre à $1^{m},50$, suivant la longueur du potelet.

Garniture à la base. — Les potelets posés sur les murs pignons à l'extérieur ne sont pas garnis. Ceux qui traversent un toit sont pourvus d'une double garniture en zinc n° 14 formée d'une *bavette* et d'une *collerette*. La bavette est une simple feuille de métal qui remplace les tuiles manquantes, elle reçoit l'eau de la rangée supérieure et la déverse sur la rangée inférieure, un petit manchon circulaire faisant corps avec elle entoure le potelet et évite les infiltrations. La collerette, sorte de pyramides à quatre faces, est soudée à l'appui et déverse sur le toit l'eau ruisselant le long de cette tige.

Galvanisation. — Les appuis, pattes, équerres et brides sont entièrement galvanisés. Leur aspect est agréable; il est inutile de les peindre et la soudure des collerettes se fait facilement et en toute sécurité; ce dernier point est très important.

Haubans. — Sauf les cas particuliers où des circonstances spéciales s'y opposent absolument, les appuis sont pourvus de quatre haubans disposés deux à deux symétriquement. Ces haubans sont formés d'un fil de fer de 5 millimètres pour les appuis de $3^{m},60$ et de trois brins de 4 millimètres câblés pour les grands appuis. Ils sont fixés soit aux murailles, soit aux charpentes; dans le premier cas, on emploie un crochet à scellement de 18 centimètres de longueur; dans le second, on utilise une console télégraphique en S. Cette pièce est fixée sur un chevron, en regard d'une panne, au moyen de deux tire-fonds, l'un de 180 millimètres, l'autre de 160 millimètres; lorsqu'on ne rencontre pas de panne, on renforce le chevron par une semelle boulonnée.

La console télégraphique est facile à poser; on la garnit très aisément, sans produire de gouttières avec une bavette en-dessus et une en-dessous; on doit ébrécher deux tuiles ou ardoises pour son passage.

Tendeurs. — Au début de la construction, on raidissait les haubans à l'aide de moufles, par le procédé employé pour régler les fils télégraphiques. Ce moyen était un peu long et ne donnait que des résultats imparfaits; de plus, par leurs allées et venues entre le potelet et les crochets, les ouvriers cassaient beaucoup de tuiles; depuis, on a employé des tendeurs qui évitent la plupart de ces inconvénients et permettent un réglage ultérieur.

Le type employé résiste à un effort de 400 kilogrammes. Il coûte 1f,50 (Soret et Leblond, à la Cachette-Nouzon, Ardennes).

Entretoises. — Deux ou trois potelets parallèles peuvent être réunis au moyen de traverses horizontales (plat 40/11) boulonnées dans les trous percés à l'avance dans chaque appui.

Ces trous sont utilisés dans les appuis simples pour attacher les haubans; dans les herses, les haubans sont fixés aux extrémités des traverses pourvues de trous réservés à cet effet.

L'écartement d'axe en axe de deux appuis est de 1 mètre; cette distance permet à un ouvrier de passer facilement entre les deux nappes de fils.

Herses spéciales. — Des herses spéciales ont été montées sur quelques bâtiments dont la toiture, simple plate-forme en zinc, portée par une charpente très légère recouvrait des mansardes habitées. Cette particularité ne permettait pas l'encastrement des appuis et exigeait l'emploi de précautions spéciales pour arrêter la transmission des vibrations.

Les montants proviennent de potelets droits dont la fourrure inférieure a été supprimée; chaque barre a été ensuite recourbée presque à angle droit pour former deux pieds reliés par une semelle en fer. Ces montants sont réunis par des entretoises horizontales et un croisillon vers la base, deux jambes de force formées d'un petit fer U, consolident chaque montant et assurent la rigidité du système. Les semelles reposent sur deux coussins en toile goudronnée remplis de sable lavé; quatre haubans fixés au sommet et à la base de la herse s'opposent à tout glissement sur la plate-forme; le poids

de l'appui et la charge des fils contribuent en outre à assurer sa fixité.

Potelets à oreilles. — L'accouplement des potelets droits est très facile lorsque ceux-ci sont placés sur

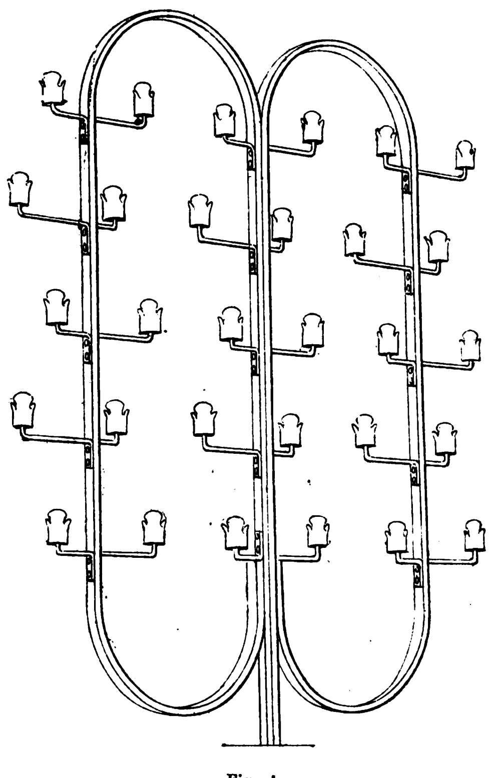


Fig. 1.

des bâtiments parallèles ou perpendiculaires aux lignes; mais lorsque la direction de celles-ci fait avec la construction un angle voisin de 45°, l'installation de deux et surtout de trois appuis parallèles exige des dispositifs spéciaux quelquefois assez compliqués.

Pour éviter cet inconvénient et réaliser le programme de l'Administration prévoyant un deuxième fil par abonné, on a essayé, à Besançon, sur trois lignes orientées obliquement par rapport aux rues, un appui spécial dit : Potelet à oreilles (*fig.* 1). C'est une forte tige, portant à droite et à gauche un potelet Schaeffer. Ces appuis se montent comme les précédents avec des brides et des pattes, mais ces ferrures sont forgées spécialement de manière à orienter l'appui dans une direction toujours normale à celle des fils. Ces potelets à oreilles peuvent porter, suivant leurs dimensions, 30 ou 36 fils.

Ils sont formés de deux fers U (50/25/6) rivés dos à dos, puis séparés à la partie supérieure, cintrés et réunis par un deuxième cintre à la base. Une fourrure (plat 40/12) remplit le vide de chaque U entre les oreilles et la base et assure la rigidité au pied.

Pose du fil. — La pose des fils se fait de deux manières différentes, suivant qu'il s'agit du premier conducteur ou des fils suivants. La pose du premier nécessite le passage préalable d'une ficelle, projetée à la main de toit en toit.

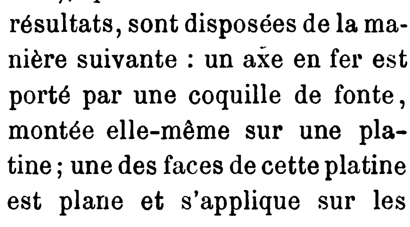
A Besançon, nous avons expérimenté le lancement de la ficelle d'un appui à l'autre au moyen d'une fusée, la seule difficulté de cette opération consistait dans le bobinage préalable de la pelote à filer, pour assurer un déroulement régulier, malgré la vitesse de lancement.

Les résultats ont été assez encourageants, mais le mauvais temps a obligé de renoncer à ce procédé.

Lorsqu'une première longueur de ficelle est passée, on en file une seconde longueur en même temps qu'un premier conducteur ; ces deux brins étant arrivés au dernier potelet on fait revenir l'extrémité du fil de

bronze au point de départ avec la cordelette et on boucle les deux brins sur deux poulies, de manière à constituer un va-et-vient.

Ces poulies (*fig.* 2 et 3), qui ont donné d'excellents



résultats, sont disposées de la manière suivante : un axe en fer est porté par une coquille de fonte, montée elle-même sur une platine ; une des faces de cette platine est plane et s'applique sur les

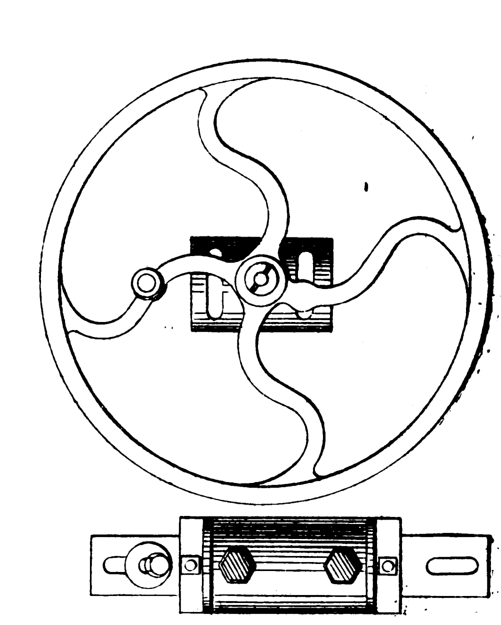


Fig. 2. Fig. 3.

potelets ; deux boulons peuvent l'y fixer ; l'autre face est cylindrique, sa convexité s'engage dans la concavité de la coquille ; ces deux pièces peuvent s'adapter l'une sur l'autre ; deux fortes vis traversant des ou-

vertures oblongues permettent de les assujettir dans une position fixe.

Une poulie de fonte très légère, dont la gorge est creusée d'une rainure assez profonde est montée sur cet axe; elle est pourvue d'une manivelle.

La coquille mobile permet d'installer la poulie rigoureusement dans le plan de va-et-vient et d'éviter ainsi sa chute dans la gorge.

Le fil à passer est attaché à la ligature du brin inférieur de la transmission, on lui laisse prendre un peu de mou pour qu'il ne se mêle pas au va-et-vient. Avec un homme à chaque intermédiaire, on peut placer les poulies à une distance de 4 ou 500 mètres.

Portées maxima. — La longueur moyenne des portées varie de 80 à 100 mètres. On a cherché à ne pas dépasser cette distance, la pose du fil sur les longues portées est en effet assez difficile. En cas de givre, les chances de ruptures sont plus grandes; enfin, elles se prêtent mal à la distribution à domicile. La configuration de la ville à Besançon et à Dijon a néanmoins rendu obligatoire l'emploi de quelques portées dépassant 300 mètres. Elles franchissent des espaces vides dans lesquels il eut été difficile ou disgracieux d'établir des appuis intermédiaires. Ces portées n'ont jusqu'à présent donné lieu à aucune rupture ni mélange.

Distance d'armement. — La distance minima des fils est de 40 centimètres sur l'horizontale et de 35 sur la verticale; les isolateurs des appuis terminant de très longues portées sont un peu plus éloignés.

Arrêtage. Sourdines. — Les poulies servant à la pose du fil ont été généralement placées sur des appuis où l'on se proposait d'arrêter invariablement les fils, avec choix de préférence des édifices publics ou des

greniers élevés éloignés des habitations; le fil provenant du tirage de la section précédente est recouvert d'une couche de chanvre, puis d'un petit tube de plomb et fait un tour sur la gorge de l'isolateur; le fil de la section suivante est pourvu d'un dispositif semblable croisant le premier; les deux conducteurs sont ligaturés et soudés.

Sur les appuis intermédiaires, les fils ne sont pas arrêtés, mais simplement fixés aux sourdines portées par les isolateurs. Ces sourdines sont du type imaginé par M. Beau, Inspecteur, et employées dans la région de Paris.

Dérivations.

Isolateurs sur goujons scellés. — L'Administration ne possède pas de tiges à scellement pour les isolateurs téléphoniques; les tiges télégraphiques sont trop volumineuses pour être fixées aux maisons de construction soignée. Nous avons fait fabriquer quelques tiges de plus petites dimensions, mais nous avons été plus satisfait de l'emploi des consoles ordinaires longues ou courtes, suivant les cas, et fixées par des goujons.

Ces pièces ont 12 centimètres de longueur et 12 millimètres de diamètre. En employant une langue de carpe de dimensions convenables on fait très rapidement les trous qui doivent recevoir les deux goujons. Les scellements se font au plâtre de Paris; dès qu'ils sont achevés on applique l'isolateur.

Les fils provenant des artères principales ou secondaires arrivent chez les abonnés en s'appuyant sur trois ou quatre isolateurs ainsi placés. Quelquefois un ou plusieurs petits potelets intermédiaires sont nécessaires.

Petits Potelets droits. — On les tire de barres de fer U de 50/25/6 ou 35/18/5 ; la plus forte section est utilisée quand l'appui doit être un peu élevé, supporter plusieurs fils ou résister à une traction. Ces barres sont galvanisées et percées à l'usine pour la pose des isolateurs ; elles sont livrées par bouts de 6 mètres et coupées au moment du besoin à la longueur convenable. On les fixe aux murs ou aux charpentes à l'aide de goujons, boulons et tire-fonds.

Potelets Schaeffer. — Ces petits appuis, formés comme les précédents, de barres U (35/18/5) percées et galvanisées à l'usine sont particulièrement commodes pour dériver plusieurs fils à l'intérieur des cours.

On les fixe au moyen de goujons et, par suite, on peut les substituer facilement à des isolateurs devenus insuffisants.

Remarques critiques.

La construction métallique que nous venons de décrire est très solide ; la galvanisation donne aux appuis une couleur agréable ; les herses et potelets droits sont d'aspect léger et gracieux.

L'emploi de collerettes en zinc soudées au fer galvanisé a permis d'assurer une étanchéité absolue ; les déchirures sont peu à craindre dans l'avenir, car les collerettes n'étant pas fixées à la toiture peuvent suivre les oscillations de l'appui.

Les potelets à oreilles, un peu moins élégants, ont néanmoins assez bonne apparence, surtout lorsqu'ils sont pourvus de leur armement complet.

Mais si ces appuis offrent une capacité notable (trente ou trente-six fils distants de 40 centimètres), ils ont

présenté des difficultés de montage qui ne nous permettent pas d'en recommander l'emploi. Il vaut mieux, lorsque l'orientation d'une ligne par rapport aux constructions ne permet pas d'établir deux rangées de potelets accouplés, renoncer à doubler la ligne et en créer une seconde parallèle. Une ligne simple est généralement assez commode à diriger, même au milieu d'obstacles, et facilite la distribution à domicile.

Dans toutes nos constructions, la distance minima des fils est de 38 centimètres et la hauteur maxima des appuis au-dessus des toits de 3 mètres.

Sur quelques réseaux on emploie des potelets dont la longueur utile est plus considérable, et on rapproche les fils jusqu'à 25 centimètres; la capacité des appuis est alors notablement accrue; cette distance nous paraît trop faible, au moins pour les réseaux à fil simple; tout en reconnaissant l'avantage des appuis très élevés nous hésitons à les employer en raison du peu de prudence des ouvriers qui sont appelés à travailler à la partie supérieure.

Schaeffer avait songé à un dispositif permettant d'augmenter la capacité des appuis droits, tout en maintenant les fils à une distance de 35 centimètres; sur ces indications nous avons construit un potelet dont la longueur utile est de $2^m,80$ et qui peut porter vingt-huit fils.

C'est un appui ordinaire sur lequel sont fixés des consoles spéciales portant deux isolateurs. Ces consoles sont de deux types, suivant qu'elles doivent être placées à droite ou à gauche du potelet.

Comme le montre la *fig.* 4, c'est en allongeant les consoles qu'on parvient à éloigner les fils horizontalement tout en les rapprochant à 20 centimètres

suivant la verticale. Dans ces conditions il est nécessaire de renforcer les tiges portant les isolateurs; elles sont formées d'un fer à section rectangulaire ▯ 20/14 dont le grand côté est vertical, l'extrémité est un peu diminuée, arrondie et terminée par un pas de vis pour recevoir la porcelaine.

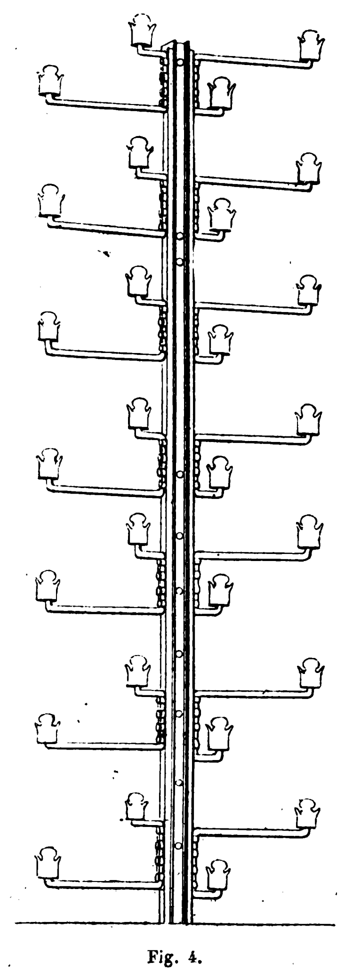


Fig. 4.

Chaque console double pèse 1kil,800, son exécution demande des soins pour éviter d'affaiblir la pièce au voisinage des trous.

Bien qu'un peu coûteux, cet appui peut rendre de grands services dans certains cas particuliers.

En employant toutes les précautions décrites plus haut, la construction en potelets droits nous paraît donc offrir de nombreux avantages. Elle présente un inconvénient grave. Il n'est pas toujours possible de s'appuyer sur des pignons extérieurs; lorsqu'il faut faire des scellements à l'intérieur ou se fixer aux charpentes, il est nécessaire de pénétrer dans les maisons: il peut en résulter des difficultés avec les pro-

priétaires. Nous sommes convaincus qu'il serait préférable de rester dans les termes stricts de la loi et d'éviter l'accès des greniers en posant simplement des chevalets haubannés sur les toits; l'aspect gracieux des lignes, seul, y perdrait un peu.

Tourelles de concentration.

Des circonstances locales ont exigé, à Besançon, l'installation d'une tourelle plus solide que celles qu'on construit généralement (Pl. II). La répartition des fils autour du bureau central est assez irrégulière et certaines directions sont très chargées, tandis que les directions opposées ne comportent aucun fil; dans ces conditions la déformation des appuis de concentration était d'autant plus à craindre qu'à certaines époques de l'année la couche de givre qui se dépose sur les fils atteint une très grande épaisseur et que les variations de température sont considérables.

D'un autre côté, le grenier de la maison portant la tourelle n'avait pas moins de dix mètres de hauteur, et la charpente n'était pas assez solide pour supporter la traction des fils prévus au projet. On résolut donc de faire supporter la tourelle par les murs pignons distants de 12^{m},50. A cet effet, ces murs ont été reliés par un véritable pont métallique sur lequel on a monté la cage d'arrêt des fils.

Pont (*) — Ce pont est formé de deux poutres composées verticales, réunies de distance en distance par

(*) Les figures ne représentent pas rigoureusement les dimensions du pont ni celles de la tourelle. En particulier, le pont a un biais assez important nécessité par la forme du bâtiment. Quelques dimensions de la tourelle reconnues défectueuses et quelques profils des fers ont été également modifiés, la toiture a été ajoutée.

des entretoises et constituant un système indéformable aussi bien sous l'influence d'une charge verticale que d'une traction latérale. Chaque poutre comprend deux cornières (150/90/12) réunies par un treillis de cornières de plus faible section (60/60/6). Des patins placés aux extrémités répartissent la charge sur une plus large surface. Ils reposent sur des pierres de taille encastrées à cet effet dans les deux murs.

Les entretoises, au nombre de quatre, sont formées de cornières semblables aux poutres et croisillonnées de la même manière.

De grandes barres posées en diagonales contreventent l'ensemble et s'opposent à tout déplacement du centre.

Les poutres d'une part, les entretoises de l'autre sont arrivées tout assemblées de l'usine, la rivure après montage a été faite au moyen d'une forge portative.

Bâti de la tourelle. — Dans les tourelles circulaires ou dodécagonales existant en France, chaque potelet est fixé à la plate-forme et travaille presque individuellement. La tourelle qui nous occupe est caractérisée par l'existence d'une forte membrure dont les diverses parties sont reliées les unes aux autres et qui sert de point d'appui aux potelets portant des isolateurs.

Elle a la forme d'un prisme octogonal de 3 mètres de diamètre et de 8 mètres de hauteur, dont les arêtes sont constituées par huit cornières verticales (70/70/8). Elle est divisée en deux étages : la partie fermée et la partie ouverte, séparées par la plate-forme.

La partie fermée est coupée par une ceinture de cornières (60/50/6) et pourvue de deux systèmes de cornières croisillonnées.

Deux faces consécutives du prisme ne sont pas identiques. Dans les faces de rang impair, les cornières sont rivées directement sur les arêtes; dans les faces de rang pair, l'assemblage s'effectue au moyen de forts goussets de tôle forgée pliés suivant l'angle de l'octogone.

Quatre cornières verticales (70/70/8) relient la plate-forme au pont et figurent ainsi les arêtes de quatre prismes triangulaires découpés dans le prisme octogonal. Ces quatre prismes sont reliés entre eux et leurs faces sont croisillonnées.

De la plate-forme, huit cornières (70/70/8) partent de chacun de ces quatre montants pour aboutir aux extrémités des arêtes de la tourelle en constituant ainsi de puissantes jambes de force qui consolident les arêtes.

En réalité, la construction a été faite en assemblant à l'usine quatre pylônes comprenant chacun un prisme triangulaire en treillis de cornières, terminé par une pyramide dont une arête verticale prolongeait une arête du prisme. Ces quatres pylônes ayant été montés et assemblés sur le pont, il a suffi pour achever la tourelle de rapporter les cornières des quatres faces qui manquaient et de les river sur les goussets.

Plate-forme. — D'une part, quatre cornières fixées aux jambes de force, d'autre part la ceinture de cornière situées à la hauteur de la plate-forme, constituent un poutrage sur lequel on a pu établir des solives radiales formées de petites pièces de chêne. On s'est arrangé de manière à ménager, du centre à la circonférence, une pente de dix centimètres.

Le plancher est en planteau de sapin de 35 millimètres d'épaisseur; une feuille de plomb recouvre le tout. Une trappe est ménagée pour l'accès.

Garniture extérieure. — Des tasseaux de bois boulonnés sur les croisillons extérieurs ont permis de clouer autour de la tourelle un lambrissage de sapin qui porte lui-même un tavillonnage en tôle galvanisée. Cette couverture est formée d'écailles ondulées de la grandeur des tuiles; elle est posée avec des agrafes. Des noquets et une noue de zinc assurent un raccord parfait avec la toiture.

Un lambrequin en zinc étampé est rapporté tout autour de la plate-forme pour dissimuler les chevrons.

Deux châssis dormants vitrés, placés au milieu de deux faces opposées, éclairent l'intérieur de la tourelle, aménagé comme chambre de paratonnerres.

Potelets et isolateurs de la tourelle. — Les huits montants de la membrure contreventés par leurs jambes de force et reliés extérieurement par quatre ceintures de cornières constituent un ensemble très solide auquel on a pu fixer des potelets métalliques identiques à ceux des lignes et qui ont été garnis d'isolateurs d'une manière analogue.

Câbles sous plomb. — Les câbles sous plomb dépouillés de leur enveloppe sur une longueur de vingt centimètres et soudés aux fils de ligne se recourbent en col de cygne sous la cloche des isolateurs, s'enroulent deux fois autour des consoles et, abrités dans la cavité du fer U, descendent jusqu'à la plate-forme. Ils pénètrent dans la tourelle par des tubulures soudées à la feuille de plomb recouvrant le plancher; un petit caisson garni du même métal protège l'entrée des câbles et ferme les ouvertures. Chaque conducteur descendant du potelet se recourbe deux fois vers le haut avant de pénétrer dans le tube; cette disposition

évite l'introduction de l'eau qui pourrait ruisseler le long du câble.

Dispositif de concentration à Dijon.

Impossibilité d'installer une tourelle. — A Dijon, les services télégraphique et téléphonique sont installés au rez-de-chaussée du Palais des Ducs, dont la ville est propriétaire. Le style de cet édifice ne permettait pas d'y établir une tourelle de concentration. D'ailleurs, un projet d'hôtel des Postes et des Télégraphes étant à l'étude, il convenait d'éviter autant que possible les frais d'une construction destinée à disparaître dans un avenir peu éloigné.

On a d'abord cherché un tracé permettant de faire passer les lignes derrière le Palais, en vue d'éviter de faire traverser la cour d'honneur par une nappe de fils. La disposition des constructions et en particulier l'existence d'arbres élevés et d'une énorme tour ont rendu cette solution impossible.

Herses de concentration. — On a alors réuni les lignes au voisinage du palais en deux groupes rectangulaires, représentés par le schéma (*fig.* 5). Des herses formées de potelets ordinaires réunis par des entretoises sont placées d'une part sur les deux bâtiments transversaux limitant la cour d'honneur et portent des lignes se dirigeant du nord au sud.

Des herses semblables sont placées sur les bâtiments longitudinaux de la cour de Bar et portent les fils orientés de l'est à l'ouest. Ces constructions étant bien moins élevées que les précédentes, les deux nappes de fils se superposent dans l'espace sans se rencontrer.

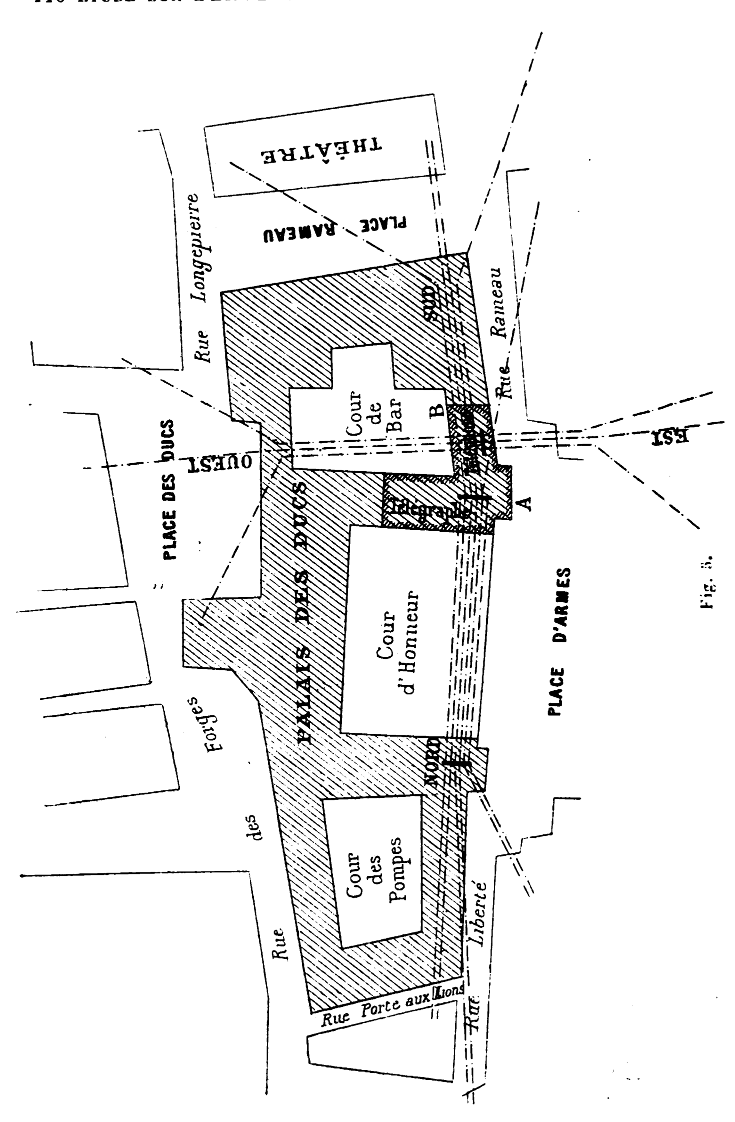


Fig. 5.

Chacune de ces herses a été garnie dès le début de tous les isolateurs qu'elle pouvait porter, alors même

qu'un certain nombre demeurait sans usage. La régularité et la symétrie de cette installation est très satisfaisante et la présence de ces appuis sur ce monument n'en altère pas notablement le caractère architectural.

Les lignes venant du nord sont arrêtées sur les isolateurs de rang pair, celles du sud sur les isolateurs de rang impair. Elles sont raccordées à des câbles sous plomb qui se logent dans les cavités du fer U et descendent jusqu'au toit. Ils pénètrent à l'intérieur du grenier au moyen d'une chattière en zinc et sont conduits à l'armoire des paratonnerres par une gaine en sapin.

Plate-forme. — Pour faciliter le travail des ouvriers au point de raccordement des câbles, on a fixé aux fermes au-dessous des herses de fortes barres horizontales qui saillissent hors du toit de 50 centimètres et sur lesquelles on place, au moment du besoin, un plateau de bois permettant d'y circuler.

Une échelle en fer, portée par des crochets qui l'éloignent des ardoises est fixée à demeure sur la toiture et conduit d'un châssis à tabatière aux deux plates-formes des herses.

Paratonnerres et dispositifs de mise à la terre.

Armoire de paratonnerres. — Dans les réseaux téléphoniques que nous installons, les câbles sous plomb provenant des appuis de concentration sont raccordés aux câbles sous gutta et coton qui aboutissent à la rosace par l'intermédiaire de paratonnerres à air.

Les fils sous gutta sont réunis en un ou plusieurs faisceaux et forment de gros câbles contenant égale-

ment quelques conducteurs affectés à la communication de terre; c'est-à-dire que les appareils du bureau central sont reliés à la terre par l'intermédiaire de la tourelle. Cette disposition a pour but, dans ces réseaux à simple fil, de diminuer autant que possible l'induction de chaque brin sur les conducteurs voisins.

L'armoire des paratonnerres reproduit exactement l'image des appuis de concentration supposés développés sur un seul plan; à chaque potelet correspondent deux rangées verticales de paratonnerres; les paratonnerres de droite sont conjugués de la rangée d'isolateurs situés à droite de l'appui, ceux de gauche de l'autre rangée d'isolateurs.

Tous les câbles sous plomb provenant du même côté d'un appui sont réunis en un faisceau par des attaches placées de distance en distance et sont renfermés dans une gaine en bois qui les conduit à un panneau occupant la partie supérieure de l'armoire des paratonnerres. Des planchettes disposées en éventail à la partie postérieure du panneau amènent chaque groupe derrière la rangée de paratonnerres; le fond de l'armoire est percé de petits trous livrant passage à chaque brin en regard du paratonnerre correspondant.

L'armoire est à double face et est pourvue de portes aussi bien par devant que par derrière; dans le compartiment antérieur on voit les paratonnerres et les fils sous gutta provenant du bureau central et montant en face de chaque rangée pour aboutir à la borne de ligne correspondante; dans le compartiment postérieur on trouve les fils de terre de chaque paratonnerre et les câbles sous plomb descendant de la tourelle.

Cette disposition très régulière permet à un agent peu familiarisé avec l'installation d'embrasser d'un coup

d'œil et de vérifier rapidement les communications en cas de dérangement.

Paratonnerre à lame d'air. — La conférence technique de 1889 a reconnu qu'il était prudent de pourvoir tous les fils téléphoniques aériens de paratonnerres placés, tant chez les abonnés qu'au Bureau central; de plus, en vue d'éviter que les appareils soient trop fréquemment mis à la terre par les imperfections des feuilles de gutta ou de papier et considérant le peu d'efficacité que présentent les pointes, elle a émis le vœu que les postes téléphoniques soient pourvus de paratonnerres sans pointes, à papier découpé ou à lame d'air.

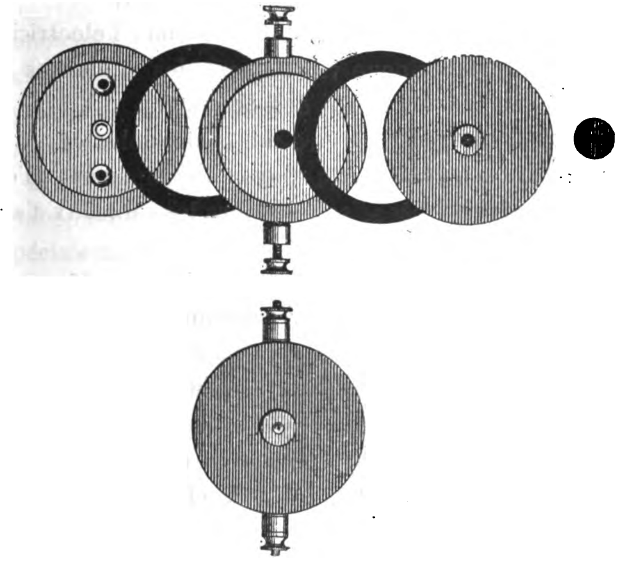


Fig. 6.

L'appareil représenté par la *fig.* 6 procède de ces indications. Il est à double lame d'air; la plaque

du milieu est reliée d'une part à la ligne, d'autre part à l'annonciateur, les plaques extrêmes sont réunies à la terre; deux bagues d'ébonite entrant dans une gorge circulaire creusée dans chaque plaque les maintiennent en regard des unes des autres à quelques dixièmes de millimètres de distance.

Dispositifs de mise à la terre en cas d'orage. — Les appareils installés à domicile ont été pourvus de deux petits groupes en laiton reliés l'un à la ligne, l'autre à la terre, et qu'on peut mettre en communication directe à l'aide d'une cheville.

L'instruction sur l'emploi du téléphone invite les abonnés à placer cette fiche en cas d'orage et leur fait savoir que le service est alors interrompu.

Ce dispositif les tranquillise quand l'électricité atmosphérique actionne violemment les sonneries et évite la mise hors d'usage des bobines.

Tous les fils peuvent être mis semblablement à la terre au Bureau central, au moyen d'un appareil qu'on installe soit à la rosace soit derrière les tableaux d'annonciateurs.

C'est un long tube cylindrique en laiton monté excentriquement sur un axe en fer reposant de distance en distance sur des coussinets reliés à la terre. Une manivelle permet de faire tourner le système d'un certain angle. Par cette rotation, le cylindre peut être mis en contact avec des paillettes de laiton reliées à chacun des fils de ligne ou, au contraire, éloigné de ces lamelles.

Dans le premier cas les lignes sont à la terre, dans le second elles sont dans la position de travail.

J. VOISENAT.



MATÉRIEL

POUR

BUREAUX CENTRAUX TÉLÉPHONIQUES

(Suite) (*).

GRANDS BUREAUX. — COMMUTATEURS « MULTIPLES ».

Multiple à deux cordons ou dicorde. — Déjà en effet, pour 1.000 abonnés répartis en groupes de 100, il y a 72 p. 100 des communications qui exigent l'intervention de plusieurs téléphonistes; pour 2.000 abonnés en vingt groupes, la proportion atteint 85 p. 100; l'anomalie est manifeste : c'est pour la faire disparaître que la Western Electric Company a combiné le système de commutateur désigné généralement sous le nom de « multiple ».

Imaginons que chaque ligne d'abonné, en outre du groupe où se trouve l'annonciateur individuel qui y est spécialement affecté, aboutisse à chacun des autres groupes, et vienne ainsi à portée de chaque opérateur : un seul téléphoniste recevra les appels provenant de cette ligne; mais chacun pourra y relier les lignes dont il surveille les annonciateurs individuels. En d'autres termes, toutes les communications seront des communications directes, où n'interviendra qu'un seul opérateur.

Tel est le principe. Nous allons en examiner l'application.

Considérons d'abord le cas des circuits unifilaires, et soient (*fig.* 21) L et L′ deux lignes d'abonnés, n^{os} X et Y.

(*) Voir *Annales télégraphiques*, 1890, p. 401.

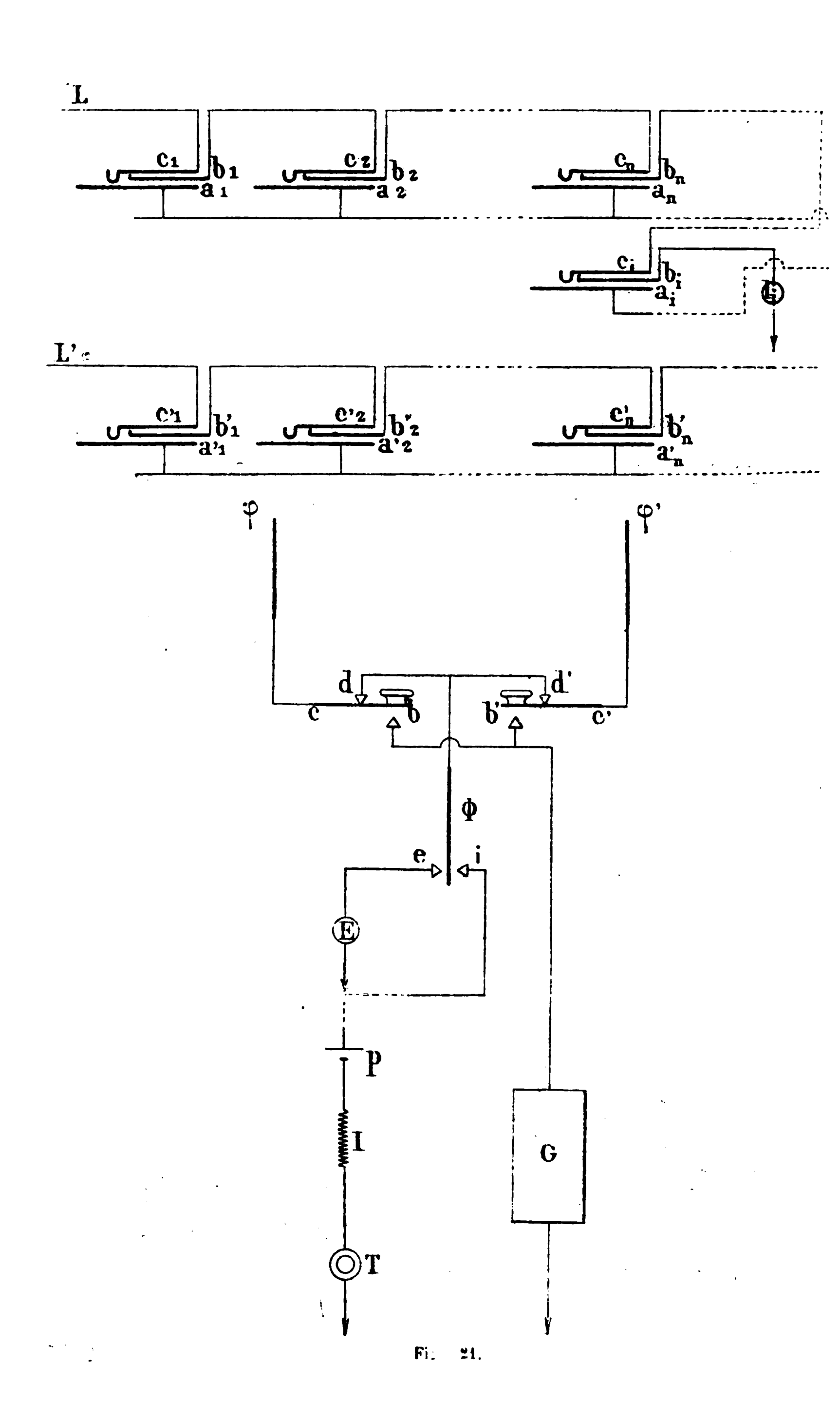

L
c_1
b_1
a_1
c_2
b_2
a_2
c_n
b_n
a_n
c_i
b_i
a_i
G
L'
c'_1
b'_1
a'_1
c'_2
b'_2
a'_2
c'_n
b'_n
a'_n
φ
φ'
d
d'
c
b
b'
c'
Φ
e
i
E
p
I
G
T

Fig. 21.

Soient encore :

$a_1 b_1 c_1$ le massif, le butoir et le ressort d'un jack relié à la ligne L et placé dans la section 1. Servant à prendre dans cette section toutes les communications indistinctement qui sont demandées à destination de la ligne L, ce jack est communément désigné sous le nom de *jack général* de la section 1.

$a_2 b_2 c_2 \dots a_n b_n c_n$ jacks généraux affectés à la même ligne et placés dans les sections $2, \dots n$.

$a_i b_i c_i$ dernier jack auquel aboutisse la ligne, en face de l'employé chargé de surveiller les appels en provenance de cette ligne ; nous supposerons que cet employé se trouve devant la section n. Spécialement installé pour donner la communication à l'abonné de la ligne L quand celui-ci appelle, le jack $a_i b_i c_i$ est dit *jack individuel*.

e_i annonciateur en communication avec le jack individuel.

$a'_1 b'_1 c'_1 — a'_2 b'_2 c'_2 \dots a'_n b'_n c'_n$ jacks appartenant à la ligne L'. Nous ne figurons pas le jack individuel non plus que l'annonciateur d'appel de cette ligne.

Comme le montre le croquis ci-contre, la ligne L venant de l'extérieur est rattachée à c_1, puis se continue, au repos, par b_1 qui communique avec c_2 $b_2 \dots$ c_n, $b_n \dots$ c_i, b_i, e_i et la terre.

De même L' rattachée à c'_1 se continue par b'_1, c'_2, $b'_2 \dots$ c'_n, $b'_n \dots$.

Les massifs a_1, $a_2 \dots$ a_n des jacks appartenant à la ligne L sont reliés entre eux, mais isolés complètement d'autre part.

Il en est de même pour les massifs a'_1, $a'_2 \dots$ a'_n et la ligne L'.

Supposons que l'abonné n° X appelle. L'annonciateur individuel e_i fonctionne, l'employé saisit une fiche φ d'une paire de cordes libre et la porte dans le *jack individuel* a_i, b_i, c_i de l'abonné appelant. Il se met en communication avec lui et reçoit sa demande : le n° X veut correspondre avec le n° Y. L'opérateur n'a point à requérir l'aide d'un de ses collègues, puisque la ligne L' de Y passe à sa portée dans le jack a'_n, b'_n, c'_n ; l'opérateur enfonce la seconde

fiche φ′ dans ce jack, et les deux lignes L et L′ sont reliées. Il pourrait arriver cependant que la ligne L′ fût déjà occupée, et alors on couperait la conversation engagée par Y ou l'on y ferait intervenir un troisième interlocuteur. Cet inconvénient condamnerait donc le système si l'on n'y avait paré à l'aide d'un artifice très élégant. Imaginons que les communications de la paire de cordes soient les mêmes que celles de la *fig.* 18, mais additionnées d'un élément de pile *p* sur le trajet du circuit induit du microphone. Si, en introduisant la fiche φ′ dans le jack a'_n, b'_n, c'_n, le téléphoniste commence par en toucher le massif avec la pointe de la fiche, de deux choses l'une : ou bien la ligne L′ sera libre, et par conséquent les massifs a'_1, a'_2... a'_n seront isolés, ou bien elle sera occupée, c'est-à-dire qu'une fiche sera enfoncée dans un certain jack a'_3, b'_3, c'_3, par exemple, et l'ensemble des massifs sera en communication par l'intermédiaire de la fiche avec le ressort c'_3 de ce jack, la ligne L′ qui y aboutit et la terre du poste d'abonné. Dans le premier cas, le faible courant dû à l'élément *p* et qui circule déjà à travers le circuit T, I, *i*, Φ, *d*, *c*, φ et L, ne subira aucune modification, le téléphone T restera silencieux au moment du contact. Dans le second cas, le courant de l'élément *p* trouve une autre issue par *d*′, *c*′, φ′, a'_n, a'_3, c'_3 et L′; le courant change donc de valeur dans la branche T, I, *i*, Φ et produit dès lors un toc dans T. Le téléphoniste est averti que la ligne L′ est occupée et prévient l'appelant. Par conséquent, à la seule condition que, dans le mouvement d'enfoncement de la fiche φ′, l'opérateur touche d'abord avec l'extrémité de la fiche le massif du jack de l'appelé, il sait que la ligne est occupée et s'arrête, ou qu'elle est libre et continue

son mouvement. L'épreuve de la ligne est donc faite dans le temps le plus court.

Les communications de la paire de cordes ne sont pas exactement telles que nous venons de dire; mais le montage que nous avons indiqué, outre qu'il se prête à un exposé plus simple, offre quelques avantages sur le montage usité à l'origine. La matière, au reste, est de peu d'importance, le fil double se substituant partout au fil simple.

Dans le multiple pour circuits bifilaires, rien n'est changé au montage des jacks sinon que les massifs sont reliés au second fil, ainsi que la sortie de l'annonciateur individuel. Le circuit des cordons et du poste de service est au contraire sensiblement modifié.

Soient (*fig.* 21):

$f\varphi$, $f'\varphi'$ les fiches, pour circuit métallique, d'une paire de cordes.
$c\gamma$ clef d'appel genre Siemens en communication avec la fiche $f\varphi$.
$c'\gamma'$ id. id. $\varphi'f'$.
d, δ butoirs de repos de la clef $c\gamma$.
d', δ' id. id. $c'\gamma'$.
b, β butoirs de travail de la clef $c\gamma$, en communication avec les pôles du générateur destiné aux appels; β est monté sur un ressort.
b', β' butoirs de la clef $c'\gamma'$; b' est sur ressort.
E annonciateur de fin de conversation.
R électro-aimant à forte self-induction, d'une forme quelconque (*).
p pile dont un pôle est à la terre.
F, F', Φ ressorts de la clef d'écoute.
e butoir en communication avec l'annonciateur E.
i, i_1, i' butoirs en communication avec le circuit induit du poste de service.
II_1 circuit induit de la bobine du microphone formé de deux fils enroulés simultanément.
C condensateur intercalé entre le butoir i et l'un des enroulements I.
T téléphone à double enroulement.
G générateur d'électricité pour l'appel.

(*) Par exemple un électro-aimant graduateur de M. Van Rysselberghe (V. *Annales télégraphiques*, t. XI, 1884, p. 323, t. XII, 1885, p. 203 et t. XIII, 1886, p. 10), ou un électro-aimant genre Morse, avec armature au contact comme ceux qu'on a employés pour combattre l'effet nuisible de la capacité sur les transmissions télégraphiques (V. *Journal of the Society of Telegraph Engineers*, vol. VI, 1877, p. 67).

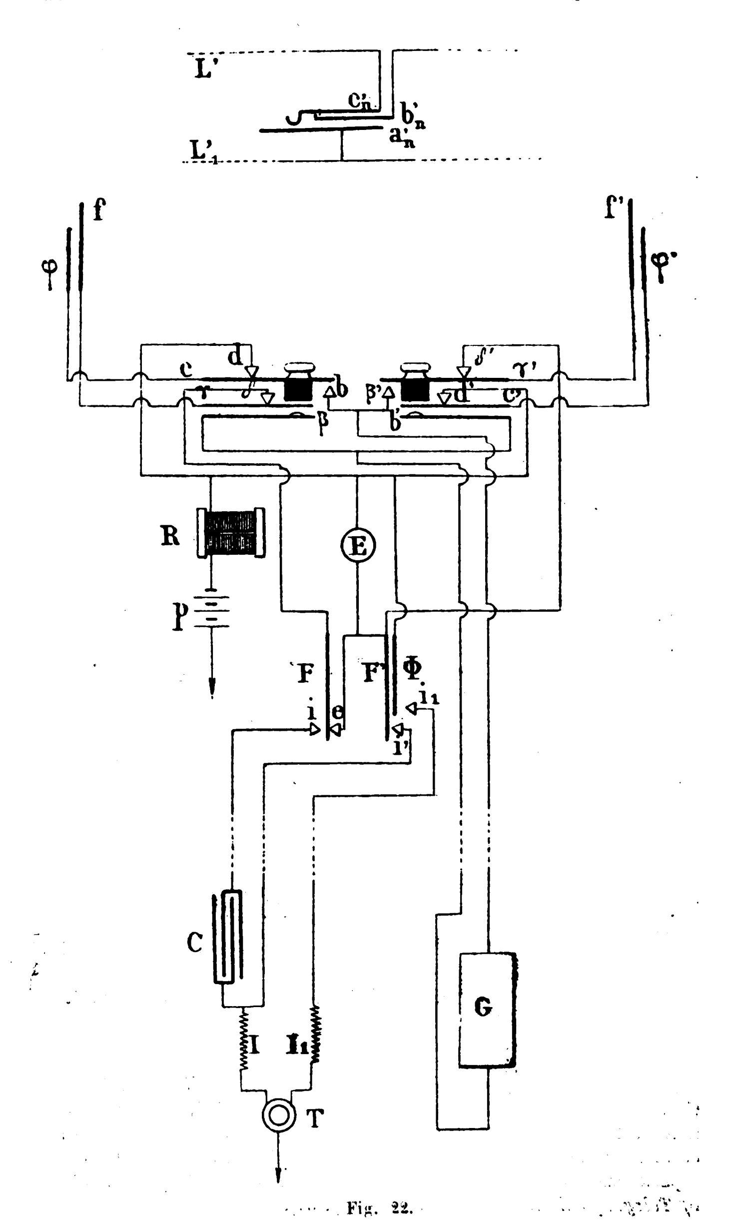


Fig. 22.

Le circuit induit de la bobine et celui du téléphone sont pris à double enroulement afin que le poste téléphonique de service soit aussi symétrique que possible par rapport aux deux fils de ligne : on évite ainsi, comme l'on sait, les bruits de *friture*.

Quand l'abonné n° X appelle, le téléphoniste porte la fiche $f\varphi$ sur la ligne LL_1 (non figurée) dans le jack individuel de X et amène la clef d'écoute sur les contacts i, i'', i_1 : le circuit du microphone de l'abonné est ainsi fermé à travers le poste de service par f, γ, δ, F, i, C, I, T, I_1, i_1, Φ, d, c et φ. L'abonné ayant annoncé qu'il demande Y, le téléphoniste essaie la ligne $L'L'_1$ du n° Y. Dans ce but, il touche avec la broche centrale f' de la fiche $f'\varphi'$ le massif a'_n. Si la ligne $L'L'_1$ n'est pas occupée, c'est-à-dire si nulle part une fiche n'est enfoncée dans les jacks appartenant à $L'L'_1$, aucun toc ne se produit dans le téléphone, et l'employé achève la communication.

Au contraire, si la ligne est occupée, si une fiche est déjà enfoncée à une section quelconque dans un jack de la ligne $L'L'_1$, cette fiche, par la bague extérieure, met les massifs des jacks en communication avec un système tel que R,p. Dès lors le contact de la broche f' avec un de ces massifs, détermine, dans le circuit γ',δ',F', i'',I, un des enroulements du téléphone T et la terre, un courant qui donne un toc dans ce téléphone : l'employé s'arrête et avise le demandeur que la ligne est occupée. On remarquera que, grâce au condensateur, ce courant ne peut être dérivé vers iFf.

Nous avions imaginé, en 1887, une autre combinaison qui, moyennant un léger changement d'attaches dans le poste d'abonné, aurait offert alors une solution

simple de la question des multiples à double fil. Elle suppose, ce qui est le cas général, que, pendant la durée d'une communication, les téléphones des abonnés sont décrochés ; par conséquent, si l'un des abonnés quitte l'appareil pour aller chercher un renseignement, il ne doit pas remettre son téléphone au crochet ; nous avons lieu de croire, d'ailleurs, que les choses se passent ainsi assez souvent.

Dans le poste d'abonné A (*fig.* 23), un des fils de ligne est relié à l'une des extrémités du circuit induit de la bobine et au manipulateur d'appel qui est isolé de la sonnerie. Le second fil arrive au crochet ; mais le butoir de repos de celui-ci est rattaché directement à la sonnerie, elle-même à la terre. Au bureau, le premier fil de ligne L' traverse les ressorts et les butoirs des jacks, puis l'annonciateur individuel mis également à la terre. Le second fil L'_1 communique avec tous les massifs a'_n isolés d'autre part.

La fiche $f\varphi$ étant enfoncée dans le jack individuel de l'appelant et la clef $F\Phi$ en contact avec i et i_1, l'essai de la ligne demandée $L'L'_1$ se fait comme ci-dessus en touchant le massif a'_n avec la broche f' de la fiche $f'\varphi'$; mais, en même temps qu'il produit ce contact, l'employé appuie sur la clef c. Si la ligne n'est pas occupée, le générateur, dont un pôle est à la terre, envoie sur le fil L'_1, à travers E et f', un courant qui fait fonctionner E et la sonnerie du poste appelé ; le téléphoniste continue à enfoncer la fiche et, comme les deux ressorts c et γ sont à ce moment en contact métallique, l'appel, s'il est nécessaire, se poursuit sur L'_1 par c et φ'. Puis, le téléphoniste abandonne $c\gamma$ et relève le volet de l'annonciateur E.

Si la ligne est occupée, c'est-à-dire si les téléphones

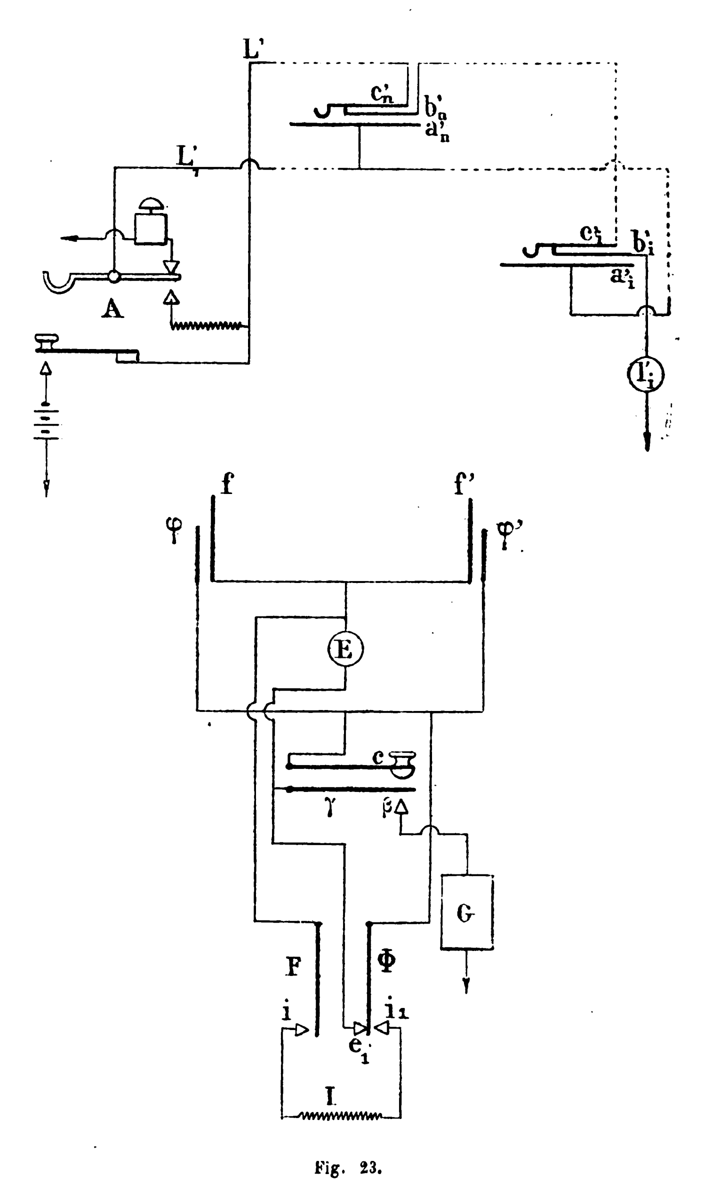


Fig. 23.

sont décrochés chez les abonnés, il n'existe pas de terre sur L'_1, et E n'étant parcouru par aucun courant ne fonctionne pas. Le téléphoniste est averti de ne pas continuer.

Il serait facile d'apporter certaines améliorations de détail, par exemple de ne pas agir, dans l'essai, sur l'annonciateur E et d'obtenir le signal visuel par un galvanoscope placé sur le trajet $G\beta$.

Ce système aurait pu rendre quelques services à l'époque où il a été combiné et où la question était bien loin d'être aussi avancée qu'aujourd'hui. Peut-être même mériterait-il encore attention pour les grands postes les moins importants, de 2.000 à 2.500 abonnés. Mais comme il n'a jamais été mis en usage, nous n'y insisterons pas. D'ailleurs, la solution exposée plus haut est préférable au moins pour les très grands postes.

De même nous ne décrirons pas présentement le spécimen de multiple construit en 1889 par la Société générale des téléphones et qui n'a été en service qu'à l'Exposition universelle.

En résumé, dans l'état actuel, quelle que soit la construction du réseau, à simple ou à double fil, le téléphoniste recevant un appel porte une fiche dans le jack individuel de l'appelant, pousse le levier de la clef d'écoute, prend connaissance de la demande tout en saisissant la seconde fiche, touche avec elle le massif du jack général de l'appelé; suivant le cas, alors, il s'arrête ou il continue le mouvement et sonne. La manœuvre redevient aussi simple et, sauf la fraction de seconde nécessaire à l'essai, aussi rapide que dans le plus petit poste. De nouveau toutes les communications sont directes et la responsabilité des agents bien limitée.

Nous devons dire immédiatement, pour prévenir l'objection qui se présente *a priori*, que les dimensions du meuble n'ont rien d'exagéré, bien que chaque section renferme un jack général par ligne d'abonné dépendant du bureau : nous reviendrons sur ce point.

Quant à présent, nous noterons, en ce qui concerne les résultats acquis, que des relevés faits, à l'insu des téléphonistes, par des observateurs placés en dehors de la salle des tableaux, écoutant sur des circuits branchés sur ceux des postes de service, c'est-à-dire des relevés offrant toutes garanties, montraient, dès 1887, les opérateurs donnant 179, 217, 241, 212 communications à l'heure, à la Nouvelle-Orléans. A Montréal, on trouve (*) 867, 983, 1.272, 1.327 communications par jour et par téléphoniste.

Enfin nous ajouterons qu'à Nashville (Tennessee, États-Unis), où le multiple, d'un type relativement ancien, comporte, dans l'essai, une manœuvre de plus que les appareils ci-dessus décrits, les téléphonistes donnent couramment, sans précipitation, 25 communications en 5 minutes. Nous tenions, l'an dernier, ce renseignement de l'obligeance de M. Rothen : depuis la Conférence technique nous avons été nous-mêmes témoin du fait et les téléphonistes de Nashville ont déclaré devant nous, sans hésitation, que, dans ce laps de temps de 5 minutes, l'on donnerait jusqu'à 30 communications si elles étaient demandées.

Multiple à corde unique ou monocorde. — Si remarquables que soient ces résultats, l'esprit d'invention a été plus loin et l'on a cherché à abréger encore les manœuvres.

(*) V. *Journal télégraphique de Berne*, vol. XI, 1887, p. 240.

Dans les appareils que nous venons de décrire, chaque paire de cordes sert à mettre en communication deux abonnés quelconques, sans être affectée au service d'aucun d'eux particulièrement ; il y a là une certaine élasticité d'action qui est avantageuse : par contre, avant de recevoir la demande de l'appelant, l'opérateur dépense 3 ou 4 secondes à porter une première fiche dans le jack individuel et à placer la clef d'écoute dans la position d'audition. On est arrivé à supprimer cette partie des manœuvres : mais on affecte alors *une corde à chaque ligne* et le multiple est dit à corde unique ou monocorde.

Voici d'abord comment le problème a été résolu pour les circuits à fil simple.

La ligne, après avoir traversé les jacks généraux et l'annonciateur individuel, aboutit à un certain nombre d'organes qui donnent naissance à deux ensembles distincts, la clef et le *jack de terre*.

La *fig.* 24 montre les communications :

L ligne de l'abonné appelant.
b_4, c_4 ressort et butoir du dernier jack général traversé par la ligne.
a_4 massif du dernier jack général.
e_1 annonciateur individuel.

CLEF

$c\,c$ lame de communication reliée, d'une part, à la ligne par les fils 1, 2, et, d'autre part, à la pièce angulaire d'.
d' pièce angulaire formant butoir pour le ressort courbe $c'c'$ quand il est au repos.
b' butoir de travail de $c'c'$ relié au générateur G.
$c'c'$ ressort courbe fonctionnant comme clef d'appel et relié au cordon et à la fiche $z_1 z'$.
Φ lame butoir communiquant avec le ressort H du jack de terre et en contact au repos avec le ressort i.
i ressort communiquant avec le circuit induit du microphone de service.
PP' poussoir muni en P' d'un coin d'ébonite et glissant longitudinalement à travers le rebord antérieur O du massif d'ébonite NO et le bloc métallique Q fixe au dos du ressort $c'c'$.

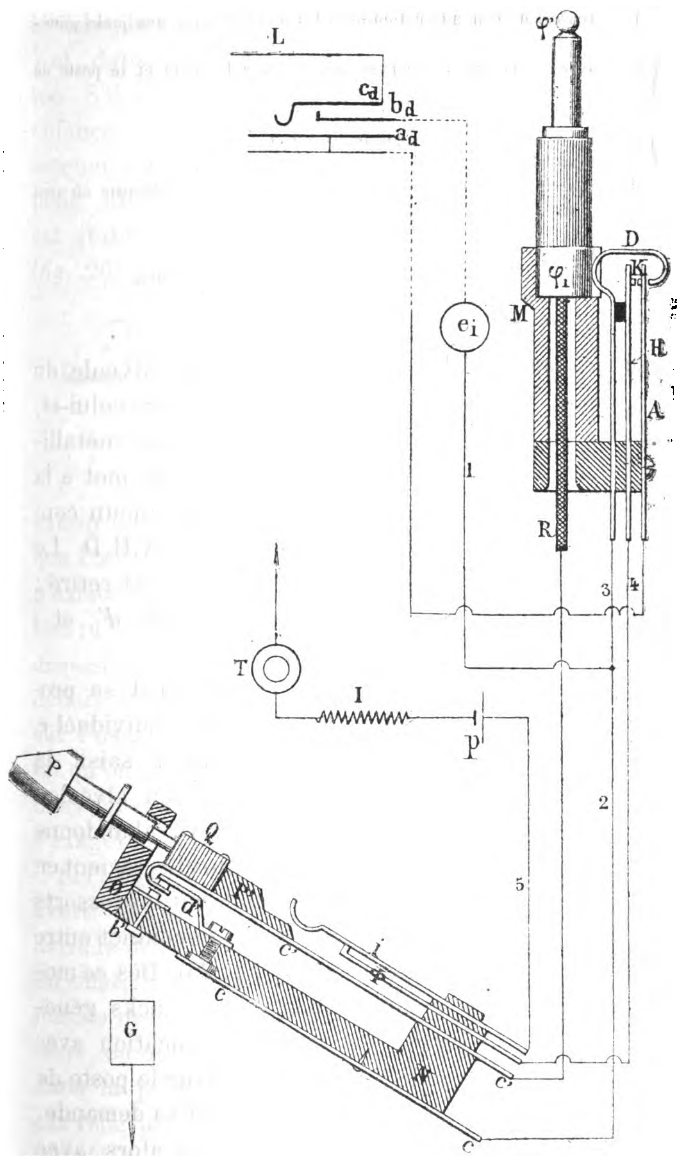
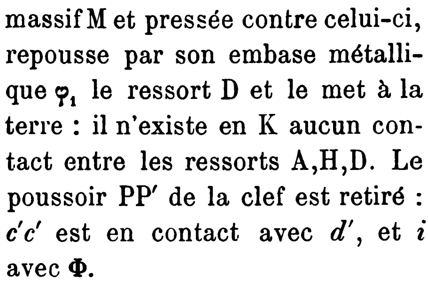


Fig. 24.

JACK DE TERRE :

- A ressort en communication avec les massifs a_d... des jacks généraux.
- H ressort servant à relier en temps voulu la ligne et le poste de service.
- R cordon de la fiche.
- $\varphi_1 \varphi'$ fiche terminale du cordon et de la ligne.
- D ressort courbe en dérivation sur la ligne par le fil 3.
- M massif métallique à la terre surmontant le bloc d'ébonite où sont fixés les ressorts A, H, D.

- *p* pile d'essai.
- I circuit induit de la bobine du microphone de service.
- T téléphone de service.
- G générateur d'électricité pour les appels.

Au repos, la fiche enfoncée dans son alvéole du massif M et pressée contre celui-ci, repousse par son embase métallique φ_1 le ressort D et le met à la terre : il n'existe en K aucun contact entre les ressorts A,H,D. Le poussoir PP' de la clef est retiré : $c'c'$ est en contact avec d', et i avec Φ.

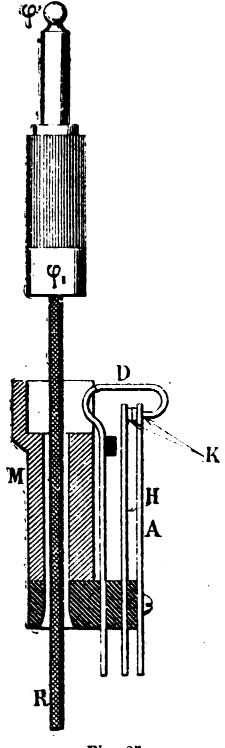


Fig. 25.

Supposons qu'un appel se produise. L'annonciateur individuel e_i fonctionne. L'opérateur saisit la fiche et la retire de son alvéole : aussitôt, le ressort D, abandonné à son élasticité naturelle revient en arrière, appuie en K sur les ressorts A, H et les amène au contact entre eux et avec lui (*fig.* 25). Dès ce moment les massifs des jacks généraux sont en communication avec la ligne et celle-ci avec le poste de service. L'abonné fait sa demande. Le téléphoniste touche alors, avec

la fiche, le massif du jack général de la ligne demandée Y et, dans son téléphone, n'entend rien ou entend un toc. S'il n'entend rien, c'est que la ligne est libre ; il enfonce la fiche, appuie sur le poussoir PP' jusqu'à amener *c'c'*, entraîné par Q, au contact avec *b'* et appelle ainsi l'abonné demandé. La communication est établie, le téléphoniste n'a plus qu'à pousser PP' (*fig.* 26) pour soulever *i* et rompre ainsi la communi-

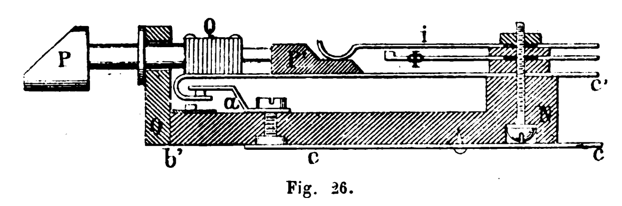


Fig. 26.

cation de son poste de service avec la ligne. On voit que l'annonciateur individuel reste sur la ligne et qu'il n'existe pas d'annonciateur spécial de fin de conversation ; l'annonciateur individuel en remplit l'office. Cette disposition a été considérée parfois comme un véritable défaut du multiple monocorde ; nous préférons à coup sûr l'usage d'un annonciateur de fin de conversation tel qu'on l'a vu dans le multiple à double corde ; mais nous ne croyons pas qu'il y ait là un vice dont il faille s'exagérer la portée.

Si l'employé, en faisant l'essai, perçoit un toc, il est averti que la ligne demandée est occupée, s'arrête, avise le demandeur et remet la fiche dans son alvéole. En effet, si la ligne est occupée, c'est que la fiche terminale de cette ligne est soulevée, retirée du jack de terre, ou qu'une fiche se trouve dans un jack général : dans la première hypothèse, l'ensemble des massifs est relié par le ressort A à la ligne Y de l'abonné demandé, et par conséquent à la terre de son poste ; c'est

le cas où cet abonné a lui-même demandé une communication ou est en train de le faire : dans la seconde hypothèse, les massifs des jacks de la ligne demandée communiquent avec elle par la fiche enfoncée et le ressort du jack général. Les deux genres de communications existent quand une conversation est en cours et les massifs sont doublement reliés à la terre. De toutes façons la pile d'essai *p* prend terre chez l'abonné demandé et donne par conséquent un courant et un toc dans le téléphone T.

Pour les circuits métalliques, la clef (*fig.* 27), a été profondément modifiée et tout a été reporté sur le jack de terre, ce qui diminue l'encombrement de la tablette des fiches. Lors de l'essai, l'audition d'un toc dans le téléphone signifie que la ligne est libre.

Soient (*fig.* 27 et 28) :

L, L′	les fils de la ligne de l'appelant.
$a_1 b_1 c_1 \ldots$,	$a_n b_n c_n \ldots$, jacks correspondants.
e_i	annonciateur individuel.
f	fil qui relie au butoir du dernier jack général le ressort F du jack de terre et la broche centrale de la fiche $f'\varphi'$.
φ	fil relié aux massifs des jacks généraux.
$f'\varphi'$	fiche ; le cylindre extérieur φ' déborde, au bas de la fiche, la gaine d'ébonite ; la broche centrale s'arrête à l'intérieur.
c	ressort communiquant avec les massifs des jacks généraux par l'intermédiaire de φ.
c'	ressort courbe en communication avec le cylindre extérieur de la fiche.
I, I_1	circuit induit (double enroulement) de la bobine du microphone de service.
i	butoir en communication avec le circuit I de la bobine de microphone.
i_1	butoir monté sur le ressort Φ, en communication avec le circuit I_1 de la bobine de microphone.
T	téléphone de service.
G	générateur d'électricité avec un pôle à la terre.
$L_1 L'_1$	fils de la ligne de l'appelé.
$a'_n b'_n c'_n$	jack général de cette ligne.
M	massif métallique, percé d'un canal vertical destiné au passage du cordon.

POP′ levier métallique en forme de **L**, basculant autour de l'axe O, percé verticalement dans sa branche horizontale, de façon à laisser passer librement le cordon.

p pile d'essai avec un pôle à la terre et l'autre relié à M.

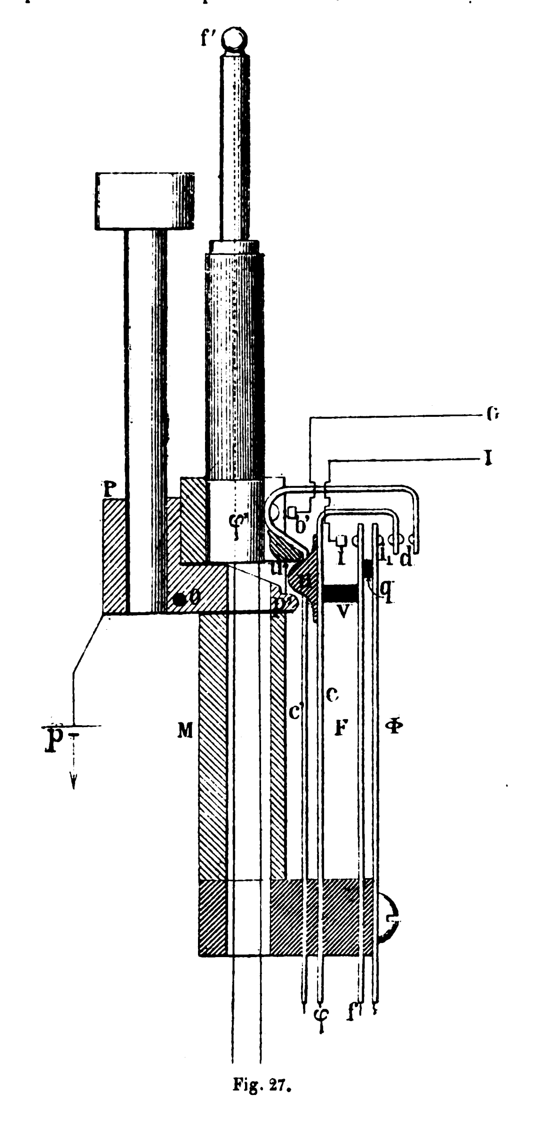


Fig. 27.

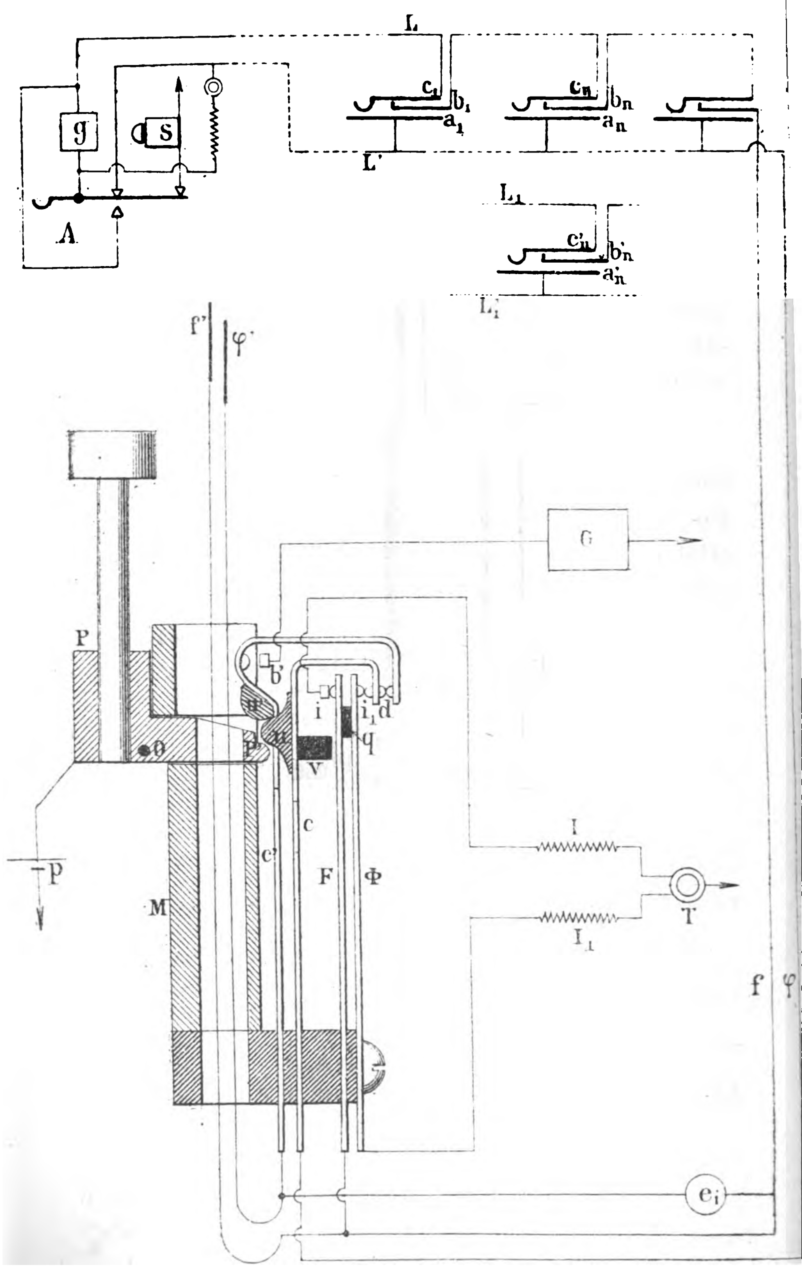

L
L'
c_1
b_1
a_1
c_n
b_n
a_n
L_1
c'_n
b'_n
a'_n
L'_1
g
S
A
f'
φ'
G
P
p
M
c'
c
F
Φ
i
i_1
d
q
v
I
I_1
T
f
φ
e_i

Fig. 28

Le ressort c' dont la partie supérieure est représentée en perspective *fig.* 29, présente un évidement $mm'nn'$ au travers duquel passe un coin d'ébonite u fixé sur le ressort c. Sur c' lui-même un coin d'ébonite est fixé en u'.

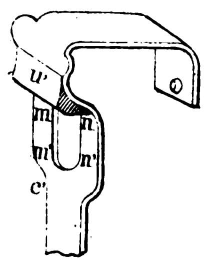


Fig. 29.

Au repos, la pièce POP′ est dans la position marquée sur la *fig.* 27 : la fiche, enfoncée dans l'alvéole formée par POP′, les bords latéralement surélevés du massif M et le ressort c', pousse c' et c de manière que les contacts d et i_1 soient rompus. Le doigt d'ébonite v que porte le ressort c vient appuyer également sur le groupe des deux ressorts F et Φ, séparés par une cale isolante, et par conséquent éloigne F du butoir i. Aucun contact n'existe donc, sauf celui de la pièce POP′ et du massif avec le talon métallique de la fiche et de celui-ci avec la partie courbe de c'.

Dans le poste A de l'abonné n° X, le circuit induit du microphone est embroché en permanence entre les fils L et L′ de la ligne; le fil L qui aboutit, à travers une petite magnéto d'appel, au levier du crochet, communique à la fois, par les butoirs de celui-ci, avec une dérivation prise sur le fil L′ et avec la sonnerie S dont l'autre côté est à la terre. Le circuit induit est donc shunté par le levier. Comme la présence de la petite magnéto serait inadmissible dans le circuit de conversation, une dérivation est pratiquée sur le fil L avant la machine magnéto et arrive à un butoir sur lequel appuie le levier quand le téléphone est enlevé du crochet. On n'a pas tracé sur la figure ce qui concerne le circuit primaire.

Les circuits étant disposés comme nous venons de le

dire, on voit que, si la fiche est dans son alvéole et le téléphone de l'abonné au crochet et si aucun jack général n'est occupé, la pile d'essai p charge la totalité de la ligne par le massif, la pièce POP′, le talon de φ', e_i, f, les butoirs et ressorts des jacks, L, la machine magnéto g, le crochet, L′, et les massifs. Au reçu de l'appel d'un abonné, l'opérateur saisit la fiche et l'enlève de son alvéole pendant que l'abonné détache son téléphone et le porte à l'oreille. A ce moment, la communication entre la pile d'essai et la ligne est rompue et les ressorts du jack de terre, revenant en arrière par leur élasticité, ferment les trois contacts d, i_1 et i. Une seule manœuvre a donc réuni le poste de service à la ligne et isolé d'elle la pile d'essai. Le téléphoniste écoute alors le numéro Y de l'abonné demandé, puis essaie la ligne y : dans ce but, il touche de l'extrémité de sa fiche le massif du jack général de Y ; si la ligne est libre, il entend un toc dû à la pile d'essai qui la charge : si elle est occupée, le téléphone reste silencieux, la fiche qui la termine étant hors de l'alvéole et dès lors la pile d'essai étant coupée au jack de terre, ou bien une fiche étant enfoncée dans un jack général et coupant la communication avec la pile d'essai du jack de terre.

Supposons pour l'instant que la ligne du n° Y soit libre : l'employé enfonce la fiche et n'a plus qu'à sonner. C'est alors qu'intervient la pièce mobile POP′ : le téléphoniste en saisit la tige, la fait basculer à refus et l'abandonne ; la communication est complète, l'abonné demandé a été sonné et le microphone de service séparé de la ligne. En effet l'extrémité P′ a d'abord rencontré le coin d'ébonite u, poussé par conséquent c et, par son intermédiaire, c' (qui touche alors

c au point *d*), puis FΦ; les contacts *i* et i_1 ont donc été rompus dans cette première partie de la course. Ensuite, le mouvement continuant, P′ a poussé le coin *u′*, sans que *u* pût revenir en arrière, sinon d'une faible quantité; la pression sur *u′* a eu pour effet de détruire le contact *d*. A fin de course, P′ a amené *c* en contact avec *b′* et le courant de G a été envoyé sur la ligne. Lorsque, en dernier lieu, l'on a lâché la tige de POP′, l'extrémité P′, en retombant sous la poussée de *c′*, est venue se loger dans l'intervalle des deux coins d'ébonite *u* et *u′*, maintenant la rupture de tous les contacts *i*, i_1 et *d* : le recul de *c′* l'a d'ailleurs séparé de *b′*. Il paraît difficile d'abréger davantage les manœuvres.

Il faut noter que, pendant l'appel de l'abonné demandé, le courant de G passe en partie par l'annonciateur e_i, la série des butoirs et ressorts des jacks et la magnéto du poste privé; mais la majeure partie suit le circuit beaucoup moins résistant constitué par le fil du cordon, φ′, les massifs et le crochet.

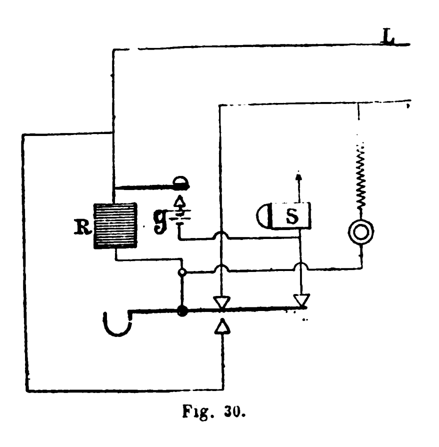


Fig. 30.

Si l'appel était obtenu à l'aide d'une pile, on pourrait adopter une disposition telle que celle de la *fig.* 30 où R représente un électro-aimant équivalent à la magnéto *g*.

Par les descriptions qui précèdent, on voit combien

est simplifiée la mise en communication de l'opérateur avec l'abonné appelant. Il semble que, par rapport au système à double corde, on gagne pleinement le temps de deux manœuvres; l'économie véritable n'est pas aussi complète, car ces deux manœuvres, avec le multiple dicorde, ne sont pas nécessairement successives comme nous l'avons implicitement supposé plus haut en indiquant les motifs qui avaient suggéré l'idée du multiple monocorde. En effet, à moins que le téléphoniste ne termine, d'une main, une communication, en même temps que, de l'autre, il commence celle pour laquelle il vient de recevoir l'appel, il effectue simultanément avec les deux mains les opérations consistant à porter la première fiche d'une paire dans le jack individuel de l'appelant et à mettre sa clef d'écoute dans la position d'audition. Souvent donc il ne reste plus à économiser que le temps employé à porter la première fiche de son alvéole dans le jack individuel. Nous observerons que ce serait non pas souvent, mais toujours, le cas si l'on adoptait, dans le multiple à double corde, le montage que nous avons préconisé plus haut (p. 12 et 20) pour le standard, c'est-à-dire si la clef d'écoute était, au repos, dans la position d'audition : on y rencontrerait encore l'avantage que nous avons dit et qu'on fait valoir parfois pour le multiple à simple corde, de se trouver, en ramenant la clef d'écoute à sa position de repos, en communication avec les abonnés.

A la rupture de la communication, et sous réserve qu'on renonce à cet avantage du monocorde, en ramenant simultanément dans les positions de repos le poussoir et la fiche, on bénéficie par contre presque entièrement, avec celui-ci, du mouvement correspon-

dant, dans le multiple à double corde, à la mise en place de la seconde fiche.

Au total gagne-t-on, pour la mise en communication, plus de 2 ou 3 secondes, et, pour la rupture, plus de 1 à 2 secondes? Nous en doutons fort et notre doute est partagé par ceux qui ont l'expérience la plus complète du multiple à corde unique. Un gain aussi minime justifie-t-il donc la complication de montage qui résulte de l'emploi de 4 ou 5.000 cordes et fiches, de 4 ou 5.000 jeux de clefs et vaut-il l'abandon d'un système où, en supposant une réserve importante de cordes (*), l'on n'a à en surveiller et réparer que 1.000 ou 1.250 paires, soit 2.000 ou 2.500 cordes, et seulement 1.000 ou 1.250 jeux de clefs? La disproportion entre le résultat obtenu et les moyens employés ne suffit-elle pas à condamner le multiple à corde unique, particulièrement dans les réseaux à circuit métallique où l'existence des deux fils multiplie les attaches? En thèse générale, nous le pensons. Cependant, il est des cas où le monocorde est pratiquement supérieur. Tout dépend de l'activité du réseau. Nous avons vu qu'on donne couramment à Nashville 300 communications à l'heure: si le téléphoniste a charge de 100 abonnés, c'est une *moyenne* de trois communications par abonné et par heure, moyenne considérable, puisqu'en supposant le service concentré sur cinq heures de la journés, hypothèse notoirement exagérée et défavorable, on arrive ainsi à 15 communications par jour. Or, il s'agit ici d'un multiple dicorde, et non du plus rapide. Il est donc généralement suffisant.

Au contraire, dans des cas très exceptionnels, la

(*) V. ci-dessous, p. 73.

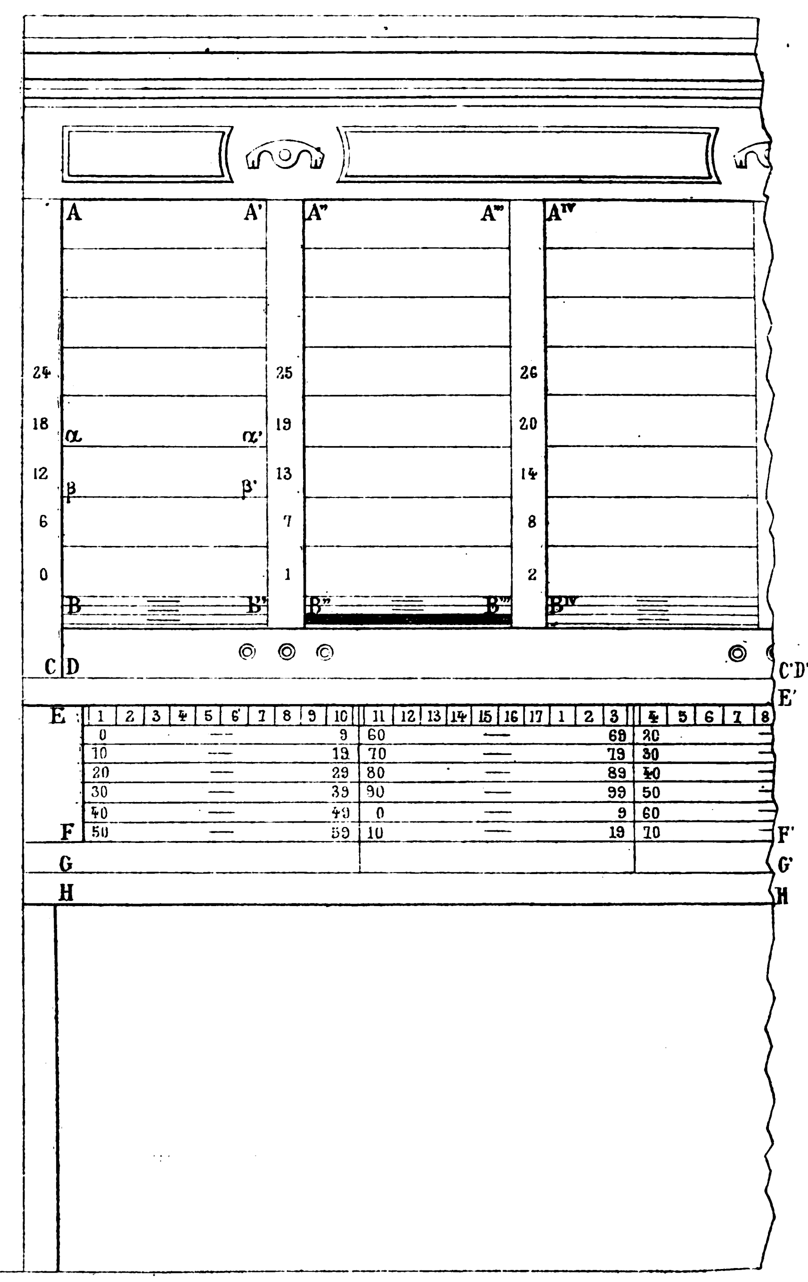

A
A'
A''
A'''
A^IV
24
25
26
18
α
α'
19
20
12
β
β'
13
14
6
7
8
0
1
2
B
B'
B''
B'''
B^IV
C
D
C'D'
E'
E
1 2 3 4 5 6 7 8 9 10
11 12 13 14 15 16 17 1 2 3
4 5 6 7 8
0 — 9
60 — 69
20
10 — 19
70 — 79
30
20 — 29
80 — 89
40
30 — 39
90 — 99
50
40 — 49
0 — 9
60
50 — 59
10 — 19
70
F
F'
G
G'
H
H

Fig. 31.

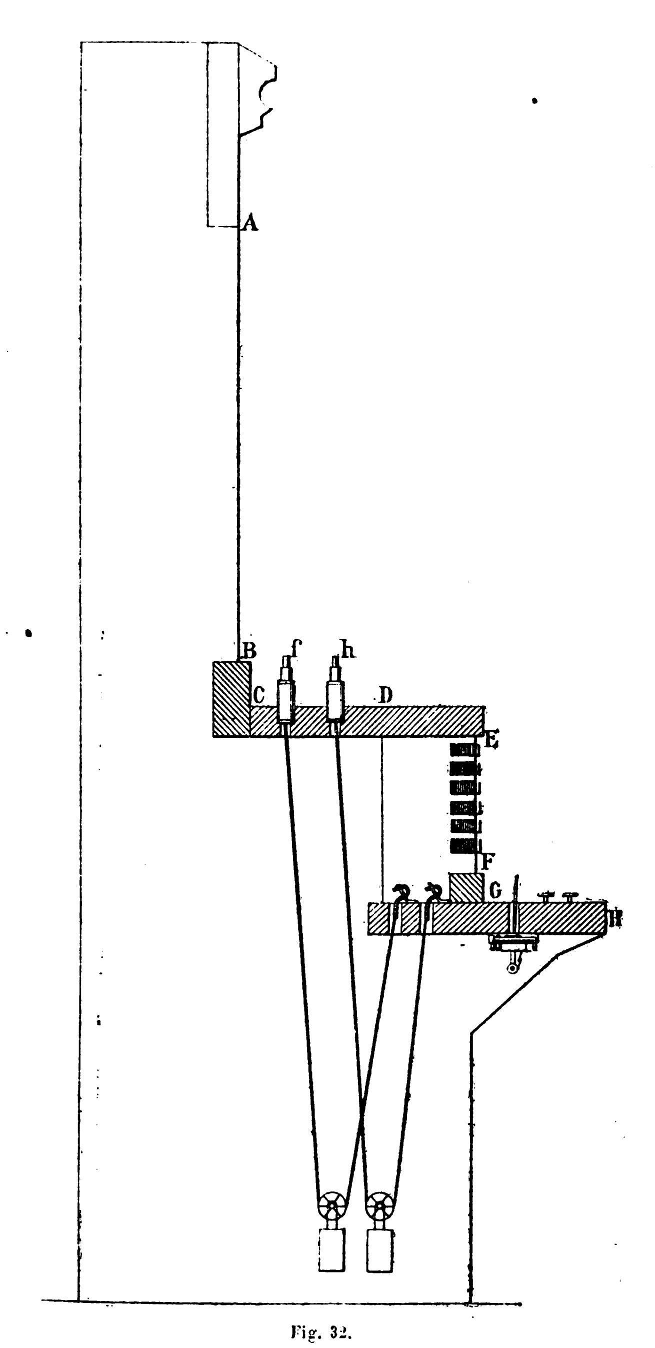


Fig. 32.

moyenne horaire monte-t-elle à 4 communications, le téléphoniste, chargé de 100 abonnés, doit en fournir 400 par heure : un gain de 4 secondes sur chacune des 300 précédentes permet de faire face à ce surcroît de 100 communications. Le système monocorde est tout indiqué.

Les données numériques ci-dessus ont été intentionnellement choisies de manière à favoriser le système à corde unique et à mettre en évidence les circonstances où il acquiert sa supériorité. En particulier, l'on a supposé les agents en état de fournir un service accéléré : il va de soi que si, par l'inaptitude du personnel ou les vices des règlements, les communications deviennent plus lentes, le rapport du temps gagné au temps total consacré à la mise en communication diminue ; 4 ou 5 secondes économisées sur 12 représentent tout autre chose que 5 secondes économisées sur 50.

Pour conclure, le multiple à deux cordes, dans l'état actuel de la téléphonie, paraît convenir à la très grande majorité des bureaux ; mais, dans certains cas particuliers où l'activité des communications est exceptionnelle, le multiple à corde unique peut rendre de véritables services si l'on applique des règlements judicieux et si le personnel est correctement entraîné.

Connaissant maintenant les organes constitutifs des commutateurs multiples et les combinaisons de circuit qui en rendent le maniement possible et pratique, nous pouvons examiner brièvement à quelles conditions en est soumise l'installation quand il s'agit d'aménager un bureau.

Les *fig.* 31 et 32 offrent une élévation et un profil

du meuble le plus souvent adopté pour le multiple di-corde : $AA'BB'$, A'' $A'''B''B'''$, etc., représentent des séries verticales de jacks semblables à celui

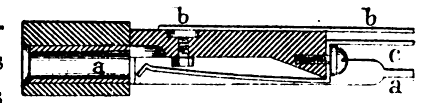


Fig. 33.

Fig. 34.

Fig. 35.

a
c
b

Fig. 36.

représenté *fig.* 33 et répartis en groupes de 100, $\alpha\alpha'\beta\beta'$, eux-mêmes formés de bandes superposées de 20 jacks, telles que celles dont les *fig.* 34, 35 et 36 montrent les

vues de dessus, de face et de dessous. Des montants A'A" B'B" séparent et servent à fixer les rangées horizontales. Les fiches reposent sur la planchette CDC'D' (*fig.* 31 et 32); les annonciateurs sont logés dans la caisse DEFGD'E'F'G' et les clefs fixées à la tablette GHG'H'.

La rangée supérieure des annonciateurs, 1, 2..., 17, comprend les annonciateurs généraux, ceux communiquant avec les paires de cordes. Les annonciateurs individuels sont au-dessous. De même les trois rangées inférieures des jacks renferment les jacks individuels et les jacks pour lignes auxiliaires s'il y a lieu. Le plus souvent, une section, c'est à-dire l'espace renfermant la série des jacks généraux, un pour chaque ligne, occupe, en largeur, 6 panneaux tels que AA'BB' avec une longueur totale de $1^{m},93$. A chaque section, sont attachés deux téléphonistes; elles atteignent donc facilement les jacks généraux de tous les abonnés soit sur leur section, soit sur la demi-section la plus voisine de la leur, à droite ou à gauche. Il paraît fréquemment avantageux de placer par section un nombre de paires de cordes égal au quart du nombre d'abonnés, ce qui donne la faculté d'avoir simultanément en cours des communications entre 50 p. 100 de ces abonnés; comme cette nécessité ne se manifeste jamais en pratique, on a là une provision de cordes largement suffisante pour parer à tous les besoins et donner le temps, à l'occasion, de réparer celles mises hors de service. Peut-être même la proportion de 25 p. 100 du nombre des abonnés serait-elle un peu forte et cette abondance de ressources présenterait-elle jusqu'à un certain point le danger signalé plus haut des renvois trop multipliés dans les postes moyens.

Les données numériques ci-dessus permettent de déterminer le développement qu'offrira un commutateur, *pourvu toutefois que le bureau soit unique* dans le réseau. Tout se réduit à savoir le nombre de sections qu'il conviendra de prendre. Or, ce nombre lui-même dépend à la fois du nombre d'abonnés et du nombre moyen de communications par abonné. En effet, si un téléphoniste peut établir 900 communications par jour, ce qui est, on l'a constaté tout à l'heure, beaucoup au-dessous de la vérité, et si les abonnés causent en moyenne six fois par jour, chaque téléphoniste sera chargé de desservir 150 abonnés et, à raison de deux téléphonistes par section, ce sont 300 abonnés ou 300 jacks individuels par section; nous citerons, à ce propos, les bureaux de Brooklyn et de Nashville, où nous avons vu cette base de 300 adoptée. Dès lors, un bureau de 6.000 abonnés exigera $\frac{6.000}{300} = 20$ sections ou $38^{m},60$ de commutateur; il y faut ajouter deux demi-sections aux extrémités pour le premier et le dernier opérateur; soit au total $40^{m},53$.

Pour être tout à fait rigoureux, le calcul devrait porter sur la moyenne horaire et non sur la moyenne journalière : mais, s'il existe dans la journée quelques heures d'activité exceptionnelle, il suffit d'ajouter un troisième téléphoniste sur la section; la longueur en est assez grande pour que trois personnes travaillent à la fois. En outre, on doit observer que, si les abonnés sont judicieusement répartis entre les diverses sections, le travail des sections peut être, dans bien des cas, rendu à peu près uniforme pendant les heures principales de la journée. Il serait évidemment absurde d'amener à une section toutes les lignes de Bourse ou de banque et sur

une autre section les lignes de commissionnaires en marchandises. La première, pour prendre une ville où les mœurs seraient celles de Paris, serait surchargée de demandes entre midi et trois heures et n'aurait rien à faire le reste du temps ; la seconde, au contraire, serait sans ouvrage de midi à deux heures.

Le genre de correspondants *demandés* n'a point à intervenir ici, puisque tous les jacks généraux servant à prendre une communication sont à portée du téléphoniste ; néanmoins l'on répartira de préférence dans les quatre ou cinq centaines inférieures des panneaux les jacks appartenant aux abonnés les plus fréquemment demandés ; l'on ne pourra ainsi que faciliter le travail : sur ce point encore les comptages de communications fournissent un renseignement utile. On ne saurait trop mettre en évidence que la seule base d'une organisation sérieuse se rencontre dans les éléments statistiques qui peuvent et doivent être aux mains des chefs de réseau.

C'est avec intention que nous venons de montrer, en nous appuyant sur des résultats acquis, qu'il était pratique, au point de vue de l'exploitation, d'attribuer aux sections une capacité de 300 jacks individuels. On ne saisit pas toujours en effet au premier abord l'intérêt qui existe à ramasser les jacks autant que possible ; l'exemple ci-dessus le fait voir immédiatement. Supposons qu'au lieu de 300 lignes d'abonnés à qui les employés aient à répondre, chaque section en comprenne 150 seulement. Le nombre des sections s'élèvera à 40, celui des jacks généraux sera majoré de 120.000, celui des opérateurs de 33 p. 100 au moins et la longueur du tableau sera doublée. Sans toucher la question de dépense, nous voyons le surcroît d'entretien

et de surveillance qui en résulterait. De plus, on se rend compte, au point de vue de la transmission, de l'inconvénient technique qui découle de ce que les courants téléphoniques ont à franchir une bien plus grande longueur de câble de bureau plus ou moins nuisible, et à traverser un nombre double de jacks. Dans cet ordre d'idées, nous devons rectifier une expression impropre dont nous nous sommes servi à la Conférence technique et que nous avons reproduite par erreur dans l'avis motivé (*) que nous avons rédigé comme suite à la délibération de la seconde section sur les bureaux centraux. Mentionnant le poste d'Anvers, où les sections, de cinq rangées de large seulement, présentent un développement de $1^{m},68$ avec 200 jacks individuels par section, nous avions dit que l'on pouvait compter sur un développement de $1^{m},68$ par 200 abonnés. Cette façon de s'exprimer incomplète et vicieuse risque d'éveiller une idée fausse. C'est bien le nombre d'abonnés par section qui détermine le nombre de sections; mais ce nombre d'abonnés varie de réseau à réseau, dépendant, si tous les éléments d'appréciation sont considérés, des conditions d'activité propres au réseau, toutes choses égales d'ailleurs en ce qui concerne l'habileté des téléphonistes. De même le nombre de cinq rangées ou de six rangées horizontales de jacks par section n'est point immuable. Est-ce à dire par là que la capacité d'une section tant en jacks individuels qu'en jacks généraux soit absolument arbitraire? Aucunement. Les dimensions matérielles des organes s'y opposent. Pour les jacks individuels, l'élasticité est assez grande dans le multiple à double corde, encore

(*) *Conférence technique de juillet* 1889, Imprimerie nationale, p. 62.

qu'il faille, au point de vue de l'encombrement, les regarder comme solidaires des annonciateurs correspondants. Mais s'il s'agit du multiple monocorde, la nécessité de loger, en plus d'un annonciateur, une corde et au moins un jack de terre par ligne d'abonné limite plus impérieusement le nombre de lignes à placer dans chaque section, indépendamment de l'activité du réseau.

La capacité d'une section en jacks généraux s'évalue sur de tout autres bases. Le propre des jacks généraux est de pouvoir être atteints tous indistinctement par un opérateur de section. Au contraire des jacks individuels placés très près du téléphoniste, les jacks généraux sont relativement éloignés de lui. La surface qu'ils occupent doit donc être telle qu'un point quelconque soit à la portée de l'employé. C'est là qu'on trouve la limite de la section, en largeur et en hauteur. Étant donnée cette surface, c'est au constructeur à en tirer le meilleur parti, en combinant intelligemment le bâti et réduisant les espaces inutilisés. On a prétendu parfois que le nombre maximum de jacks généraux par section ne saurait excéder 6.000; il nous est impossible de souscrire à cette évaluation. En premier lieu le nouveau multiple de Boston, où l'on perd une grande quantité de jacks pour les lignes auxiliaires des bureaux annexes ou suburbains, comporte l'établissement de 6.600 jacks généraux d'abonnés, dont le plus élevé est à $1^m,79$ du sol, c'est-à-dire moins haut que n'arrivent en ce moment les téléphonistes de Paris; puis l'examen même des commutateurs construits jusqu'ici nous persuade que cette limite est facile à dépasser. Une place assez considérable est perdue dans les multiples actuels; en rectifiant légè-

rement quelques dimensions des bâtis, on arriverait presque certainement, dans un espace limité sensiblement à celui aujourd'hui consacré aux jacks généraux, à en loger sur chaque section environ 10.000.

Des hommes très compétents ont parlé récemment de 15.000; mais il faudrait pour cela augmenter les dimensions de la section et nous hésiterions à affirmer, sans expérience préalable, la praticabilité de la combinaison. C'est à l'avenir à résoudre la question. Nous préférons, quant à présent, nous appuyer sur des prévisions moins étendues.

Les personnes non familiarisées avec le fonctionnement des multiples pourraient même s'effrayer, au point de vue de l'exploitation, des difficultés d'entretien correspondant à l'accumulation de 8 ou 10.000 lignes dans un même bureau et sur un espace assez resserré. Les dérangements inévitables ne seront-ils pas en tel nombre que le service des téléphonistes sera perpétuellement entravé par la présence des agents de réparation obligés d'enlever une pièce ou d'en retoucher une autre? L'expérience, heureusement, donne la réponse à l'objection. Dans le réseau de Brooklyn, mené avec une grande méthode, on a relevé avec soin tous les dérangements survenus pendant treize mois (1er juillet 1888-31 juillet 1889) sur le multiple monocorde du poste central : 1.440 jacks de terre (*fig.* 24, partie MAφ') ont fourni seulement 76 dérangements de toutes sortes; 1.560 clefs (même figure, partie *ic*P) 459; 15.660 jacks généraux **11**; 1.660 annonciateurs 294; encore faut-il noter que sur ce dernier nombre, 203 se rapportaient aux tourillons

de l'armature et que le second mois de la mise en service en comptait 190 : c'était évidemment un réglage à faire. Un nouveau relevé poursuivi pendant six mois à la suite du remplacement, au commencement de 1890, de la tablette des clefs et cordons par une autre montée suivant le système à double corde, a montré pour 17.380 jacks (dont les 15.660 servant depuis juillet 1888) 21 dérangements dus à de mauvais contacts entre le ressort et le butoir; ces dérangements ont été attribués à la quantité de poussière soulevée au cours du travail de substitution qui avait entraîné le déplacement de tous les câbles aboutissant aux jacks. Les 1.770 annonciateurs individuels ont donné 26 dérangements, les 273 clefs d'appel 5, etc. ; dans ces six mois, les dérangements de cordes représentent 35 p. 100 du nombre de celles-ci, soit 17,5 p. 100 du nombre des paires. Comparée à celle qu'on trouve dans les bureaux d'ancien système, cette proportion n'est pas élevée.

Lors même que les résultats ne seraient pas partout aussi favorables, ceux qui viennent d'être mentionnés sont à coup sûr encourageants et permettent d'envisager avec confiance l'établissement de grands multiples. Néanmoins, il n'y a pas de doute que, dans un temps donné, les plus grands que l'on sache aujourd'hui construire deviendront insuffisants. En l'état actuel, l'artifice qui nous semble le mieux résoudre la difficulté est celui dont le principe a été publié presque simultanément par M. Bouchard et M. Kellog (*). Il

(*) Voir l'article de M. Bouchard, dans les *Annales télégraphiques*, présent volume, p. 193. Le brevet de M. Kellog a été publié aux États-Unis dans la *Gazette officielle* du 25 mars de cette même année.

serait désirable qu'un essai en fût fait, le système paraissant avoir une véritable importance, si, comme le croient quelques personnes, l'on doit créer plus tard des postes de 20 ou 30.000 abonnés.

Quoi qu'il en soit, les ressources présentement existantes limitent, croyons-nous, à 10.000 ou, dans l'hypothèse la plus large, à 12.000 le nombre maximum de jacks généraux qu'une section puisse contenir. Or, la limite de 10.000 ou 12.000 abonnés sera prochainement atteinte dans plusieurs réseaux, elle l'est déjà à Berlin. On est donc conduit à créer plusieurs multiples indépendants, situés ou non dans les mêmes immeubles, mais constituant de toutes façons des ensembles séparés, presque des bureaux différents, qu'il faut relier entre eux par des lignes auxiliaires. Nous touchons ici à l'un des points les plus délicats de l'installation des postes, à l'un de ceux qui méritent le plus d'attention à raison des mécomptes auxquels on s'expose en le négligeant. Soient à relier deux multiples de 6.000 abonnés ; le nombre de lignes auxiliaires à établir dépend évidemment du nombre de communications s'échangeant entre eux ; supposons 60.000 communications par jour. Si l'on en donne 70 par ligne auxiliaire et par jour, il faut ajouter aux 12.000 lignes d'abonnés 857 lignes auxiliaires.

En admettant que le trafic ait même activité du premier bureau, A, vers le second, B, que du second vers le premier, on formera deux groupes de 430 lignes partant l'un de A, l'autre de B et aboutissant uniquement dans l'autre poste à des jacks individuels munis d'annonciateurs ; ces jacks individuels sont les seuls figu-

rant aux sections dont ils font partie, tandis que, par les jacks généraux d'abonnés, ces sections ont identiquement la même composition que les sections normales. Comme on ne peut guère confier à un employé plus de 15 ou 16 lignes auxiliaires à surveiller, nous admettrons que les jacks individuels correspondants sont groupés par 45 sur chaque section spéciale et que les appels y sont reçus par trois téléphonistes : il y aura par conséquent, dans chacun des bureaux A et B, 9,5 sections spéciales d'arrivée ; en supposant les sections normales desservies également par trois téléphonistes, mais pour 300 abonnés, c'est un accroissement de presque 40 p. 100 dans le nombre des sections ; l'emplacement nécessaire et les frais résultants sont fortement accrus.

Au poste de départ des lignes auxiliaires, il est manifestement inutile, sinon nuisible, de « multipler » les 430 lignes dans toutes les sections normales ; outre que c'est perdre 430 jacks généraux à chaque section normale, c'est encore provoquer une confusion dangereuse, car un opérateur de A ayant à appeler une section spéciale de B est obligé de chercher au hasard, parmi les 430, une ligne auxiliaire qui soit libre. Au contraire, si les 430 lignes auxiliaires de départ sont partagées également entre les 20 sections normales, les trois téléphonistes d'une section n'ont plus à chercher que parmi 21 ou 22 lignes et, dans la pratique, adoptent chacun un certain nombre de jacks, ceux qui sont le plus sous leur main. Aucun désordre ne se produit donc, bien que les sections, dont le travail, nous le répétons à nouveau, doit être tout à fait semblable, disposent d'une quantité suffisante de lignes auxiliaires.

La question changerait si les 6.000 abonnés n'appartenant pas au poste A, au lieu d'être réunis au bureau B, étaient disséminés entre plusieurs bureaux C, D, E, situés dans différents quartiers de la ville. Lors même, en effet, que ces trois bureaux succursales seraient d'importance numérique équivalente, les 21 lignes auxiliaires d'une section normale de A se diviseraient sur C, D, E à raison de 7 par bureau, ce qui est un peu faible. Pour parer à tous les besoins, on groupera donc les lignes de départ, non plus par 21, mais par 42 (21×2) ou par 63 (21×3), sauf à les « multipler » sur deux ou sur trois sections voisines, de façon qu'une quelconque, si un incident y produit un afflux subit de communications pendant quelques minutes, soit en état d'écouler rapidement tout le travail qui lui incombe. Le cas de l'équivalence numérique entre C, D, E est purement théorique et ne se présente pour ainsi dire jamais; de plus, cette équivalence numérique existât-elle, qu'elle n'entraînerait pas le moins du monde l'égalité d'importance comme travail. A nombre égal d'abonnés, on peut trouver d'un quartier à l'autre d'une même ville des différences de 5 ou 600 p. 100. Nous n'avons momentanément adopté l'hypothèse ci-dessus que pour montrer la diversité des éléments qu'il fallait considérer dans l'installation d'un poste central, en ce qui concerne les lignes auxiliaires. En réalité, la nécessité conduit à « multipler » les lignes d'autant plus que les succursales sont plus nombreuses et le degré dans lequel il convient de le faire est clairement indiqué par les statistiques de communications.

On ne saurait trop insister sur l'importance capitale de ces statistiques. Néanmoins, quand des circons-

tances particulières les ont rendues impossibles, on arrive parfois, surtout dans les vieux réseaux, à tirer des renseignements très instructifs et offrant un intérêt comparable, de particularités qu'on serait tenté de dédaigner comme ne fournissant pas de données assez précises. Supposons, par exemple, que pour une raison quelconque, on n'ait pu, dans le réseau de Paris, obtenir de statistiques et qu'il s'agisse de le réorganiser en prenant pour base l'installation de quatre bureaux : un grand bureau central A placé vers la rue du Louvre et trois bureaux succursales, l'un B du côté du Parc Monceau, l'autre C dans la direction des Buttes-Chaumont, le troisième D sur la rive gauche.

Uniquement pour la facilité du raisonnement, admettons que le bureau A reçoive tous les abonnés reliés actuellement aux bureaux de l'avenue de l'Opéra, de la rue d'Anjou, de la rue de Lafayette, de la rue Étienne Marcel et de la place de la République ; B, ceux de Passy, de la rue Logelbach ; C, ceux de La Villette et de la rue de Lyon; enfin D, ceux de l'avenue des Gobelins, de la rue Lecourbe et du boulevard Saint-Germain. Quelles prévisions pourra-t-on faire sur les lignes auxiliaires à construire entre A et chacun des autres ? Il n'est pas impossible de s'en rendre compte. Au mois d'avril 1890, avec 7.000 abonnés environ à Paris, les quatre groupes représentés par A, B, C, D, possédaient les communications suivantes :

Entre A			Entre B			Entre C		
et B	76	lignes auxiliaires	et C	21	lig. aux.	et D	36	lig. aux.
et C	127	—	et D	21	—			
et D	114	—						

C'est la répartition qui s'était opérée naturellement par l'expérience quotidienne.

La proportionnalité subsisterait très approximativement si les besoins du service exigeaient qu'on augmentât le nombre des lignes lors de la réorganisation. Mais nous ne pensons pas qu'une augmentation soit nécessaire avant un certain temps; nous sommes même convaincu qu'une réduction serait très praticable. Aujourd'hui, la plupart des communications sont données entre abonnés appartenant à deux bureaux différents et demandent l'intervention de quatre téléphonistes. Il en résulte des pertes de temps considérables et une utilisation très défectueuse des lignes auxiliaires; on sera certainement au-dessous de la vérité en évaluant au double du travail actuel celui qu'on obtiendrait du même nombre de lignes auxiliaires desservant les quatre bureaux A B C D montés avec *des multiples.*

Nous écarterons cependant l'hypothèse d'une réduction, à raison de son caractère favorable et nous supposerons même une très faible augmentation.

On assurerait un excellent service au bureau principal A en portant à 80 le nombre des lignes A-B, et à 140 celui des lignes A-C et A-D. La moitié fournirait des lignes d'arrivée de B, C et D vers A et aboutirait, sur trois ou quatre sections spéciales de A, à des jacks individuels. L'autre moitié représenterait les lignes de départ de A vers les mêmes bureaux et serait « multiplée » dans les sections normales, mais non uniformément dans toutes. A notre avis, il serait plus que suffisant, pour les lignes allant vers C et vers D, d'en « multipler » 35 de chaque catégorie dans la moitié des sections normales de A, les 35 autres de chaque catégorie l'étant dans l'autre moitié; quant aux lignes vers B, il y aurait probablement lieu de distinguer si les sections normales sont à 200 ou à 300 abonnés; dans le premier

cas, les 40 lignes de départ pourraient vraisemblablement être traitées comme les 70 allant vers C et D et partagées en deux groupes de 20 partiellement multiplés; mais, dans le second, si le nombre de 20 lignes paraît un peu réduit pour 300 abonnés, il serait facile de multipler les 40 dans toutes les sections.

Dans les bureaux B, C et D, des considérations analogues détermineraient la répartition des lignes en correspondance avec A. Les lignes entre C et D, élevées à 40, seraient réparties en deux groupes de vingt, chacun mis en multiple dans tout le bureau de départ et se terminant, comme toujours, à des jacks individuels au bureau d'arrivée. Quant aux lignes B-C et B-D, il serait peut-être sage d'y appliquer un système complètement différent et de les faire aboutir simplement, par leurs deux extrémités, à des jacks individuels de sections spéciales sans les monter aucunement en multiple. L'intervention de trois téléphonistes devient alors nécessaire pour établir une communication. L'opérateur de B recevant une demande à destination de C avise l'opérateur d'une section spéciale de B et se retire; ce dernier employé prend la ligne du demandeur sur le jack général qu'il a en face de lui et le met en relation avec une ligne auxiliaire; le téléphoniste de la section spéciale de C n'a plus, après avis, qu'à relier la ligne auxiliaire avec la ligne de l'abonné demandé. Nous passons sur les très brefs renseignements verbaux qui s'échangent à ce propos, le laps de temps s'écoulant avant le commencement de la conversation n'excédant pas beaucoup la durée normale, pourvu que les téléphonistes soient bien au courant.

Les données que nous avons admises pour le réseau de Paris, bien que n'étant pas strictement exactes,

suffisent à mettre en relief les trois cas qui, selon toute vraisemblance, se présenteront quand on réorganisera le réseau. Pour procéder avec une rigueur absolue, il serait indispensable de posséder des statistiques précises : nous croyons cependant ne pas nous être trop écarté de la vérité.

Avant de terminer cette étude, nous désirons signaler un artifice d'installation que nous regrettons de ne pas voir appliquer dans tous les postes un peu importants et qui est propre à aider puissamment dans sa mission de surveillance le chef d'un poste central téléphonique. C'est l'établissement d'un bureau à son usage avec petit tableau commutateur, sur lequel des jacks sont reliés en permanence aux téléphones des divers opérateurs; d'autres jacks donnent un renvoi sur chacune des sections. Un semblable dispositif évite au chef les promenades qui, le plus souvent, gênent les opérations des téléphonistes sans permettre de saisir en temps utile les fautes commises : grâce à ce commutateur, le chef du poste, sans bouger et sans troubler qui que ce soit, se fait mettre en communication avec les abonnés pour répondre à leurs réclamations, se porte sur la ligne de tel ou tel téléphoniste pour l'inviter à parler moins haut, etc., et, dans la période où les employés se forment au service, suit leur travail, rectifie les erreurs inséparables de tout apprentissage, les guide, enfin leur donne à l'occasion, et ce n'est pas la moindre part de sa mission, l'appui de son autorité contre les exigences mal justifiées de certains correspondants. Il importe de soutenir ainsi les agents dans leurs débuts : en téléphonie autant que

n'importe où, les perfectionnements du matériel sont sans effet si le personnel est sans valeur.

De nombreuses questions ont été soulevées au cours du travail que nous achevons maintenant, et quelques solutions heureuses ont été indiquées ; les progrès accomplis déjà donnent bon espoir que l'avenir apportera des solutions plus complètes encore. Nous n'avons pas cherché à les entrevoir. Il nous a semblé qu'il y avait, pour beaucoup des lecteurs des *Annales télégraphiques*, un intérêt plus immédiat à connaître l'état actuel des choses et à saisir, par l'examen de plusieurs points qui avaient été signalés à la deuxième section, l'origine et la portée des résolutions adoptées par la Conférence technique réunie l'an dernier.

G. DE LA TOUANNE.

NOTE

SUR UNE

LIGNE SOUTERRAINE EN CONDUITE DE CIMENT

La ligne souterraine de Lyon à La Palisse, que j'ai été chargé de réparer dans le courant de la campagne de revision de 1890, est cette même ligne sur laquelle M. Gidel (*) a déjà publié, dans les *Annales*, une intéressante étude qu'on ne saurait avoir oubliée. Elle comprend deux sections en conduite de fonte, l'une de Lyon à Tarare, la seconde de Roanne (Le Coteau) à La Palisse; ces deux sections se comportent bien. Les réparations ont donc porté uniquement sur le tronçon intermédiaire de Tarare à Roanne. Ce fragment de ligne est construit en conduite de ciment; il comprend trois câbles (nous les désignerons par les lettres A, B, C) et se compose de quatre-vingt-trois sections successives, longues de 500 mètres. Sa construction remonte à l'année 1885.

Nous avons relevé la position de trois cent quatre-vingt-quatorze défauts sur cette longueur de $41^{km},500$, soit en moyenne neuf défauts et demi par kilomètre. Ce chiffre est considérable et suffit à lui seul à démontrer dans quel état plus que médiocre de conser-

(*) Au sujet des réparations de lignes souterraines en conduite de ciment, voir dans ce recueil les articles de MM. Gidel, t. XVII, p. 5, et Schaeffer, t. XVI, 1889, p. 424.

vation se trouvait la ligne en ciment de Tarare à Roanne, quoi qu'elle eût déjà été, depuis 1885, l'objet de plusieurs revisions, dont la dernière en automne 1888. Il faut ajouter que, si j'ai trouvé certaines sections convenablement isolées, si j'ai pu en réparer certaines autres assez heureusement pour les laisser avec un isolement très sérieux, il en est que j'ai dû abandonner, après y avoir fait un nombre considérable de soudures, dans un état d'isolement insuffisant.

Les défauts que j'ai dû réparer, peuvent en effet se répartir dans deux catégories bien tranchées.

Les premiers sont les défauts provenant de coups de foudre, soit directs, soit produits par choc en retour. Ces défauts se reconnaissent très aisément. La décharge s'est frayé un chemin à travers la gutta, laissant comme trace de son passage un petit trou rond, qui peut être à peine visible, ou une fente plus ou moins large qui peut aller jusqu'à rompre la continuité de la gutta tout autour du fil. En outre, les brins de cuivre sont noircis par l'oxydation dans le voisinage du trou, et lorsque la décharge a été violente on trouve généralement un ou plusieurs brins du toron de cuivre brisés. Lorsque l'enveloppe du câble est bien conservée, lorsque la gutta est en bon état, la décharge a pour effet de produire sur chaque fil un nombre limité de ces défauts; on les localise assez aisément et, lorsqu'ils sont réparés, on peut généralement donner au câble un isolement considérable.

Il arrive cependant parfois que certains de ces défauts provenant de coups de foudre soient assez faibles pour que leur position ne puisse être déterminée électriquement. Dans ce cas l'isolement du câble, sans être très bon, doit être considéré comme suffisant.

Il est malheureusement une autre catégorie de défauts dans la production desquels la foudre nous semble ne jouer aucun rôle. On trouve dans la ligne en ciment des kilomètres entiers le long desquels le câble est dans un état de décomposition putride. L'enveloppe de filin et l'enveloppe de ruban tanné ont entièrement disparu; il n'en reste plus trace autour du câble, qui est réduit à ses trois âmes. Par contre les tuyaux sont pleins d'une bouillie noirâtre qui exhale une odeur caractéristique de putréfaction. Les âmes, qui sont à nu, sont recouvertes de longues taches gris jaune, ayant absolument l'aspect du ciment. Il paraît assez vraisemblable que ce soient en effet des parcelles de ciment, arrachées mécaniquement par l'eau qui circule constamment dans les tuyaux, qui viennent s'attacher à la gutta. L'un des câbles C, en effet, qui est placé au-dessus des deux autres A et B, ne subit presque pas cet effet dans les sections où ceux-ci sont fortement attaqués, le niveau de l'eau qui circule dans les tuyaux étant assez bas en général pour que B ne soit pas baigné. Il est probable que, lorsque ces taches ont commencé, par une action mécanique, à se former sur la gutta, a lieu une action chimique dont il est difficile de définir très exactement la nature. La tache paraît ronger la gutta qui devient spongieuse tout en diminuant d'épaisseur. Il s'ensuit des pertes parfois très importantes (leur résistance est souvent inférieure à 1 mégohm) et qui sont extrêmement nombreuses. Leur nombre même empêche qu'on puisse déterminer exactement leur position au galvanomètre : il nous est arrivé de faire des soudures de $0^{m},80$ de longueur, et nous avons dû plusieurs fois faire quatre et cinq soudures sur une longueur de 1 mètre. Ces pertes sont à

peu près impossibles à réparer, parce que le seul fait de supprimer l'une d'elles suffit à provoquer un défaut dans la tache voisine qui ne perdait pas auparavant.

Dans ces conditions, la seule manière d'obtenir un bon isolement serait de remplacer ces bouts de câble par du câble neuf. Mais il faut bien remarquer que, les causes persistant, les effets persisteraient également et que par suite les câbles neufs seraient voués à la même destruction que les anciens. D'autre part, les premières réparations ont été faites, non pas en localisant et réparant les défauts, mais en remplaçant par du câble neuf toutes les sections où les fils étaient mal isolés. Il faudrait donc remplacer ces câbles tous les quatre ans au moins. Étant donné que les sections frappées de la foudre subsisteraient toujours et devraient être réparées chaque année comme cela se fait actuellement, l'augmentation des frais d'entretien qui en résulterait serait excessive. Cependant ces sections deviennent chaque année plus mauvaises et l'on peut déjà affirmer qu'en 1891 ou 1892 au plus tard, on sera obligé de remplacer un nombre considérable de kilomètres de câble.

J'ai cherché à me rendre compte des causes pour lesquelles telle ou telle section était mauvaise plutôt que telle autre. J'ai à cet effet construit quelques courbes qui m'ont amené à cette conclusion qu'il est impossible de dégager une loi simple entre le nombre des défauts et les conditions physiques de la ligne, altitude, pente, orientation, impossible également de rattacher à ces conditions physiques seules les causes du plus ou moins mauvais état de conservation de l'enveloppe et de la gutta. Dans ce dernier effet la nature du ciment employé, qui n'a pas dû être constamment

la même, paraît jouer un certain rôle. On constate en effet des variations brusques assez inexplicables autrement : dans certaines sections, où la pente était bien uniforme, nous avons trouvé des câbles dont l'enveloppe fort bien conservée disparaissait brusquement comme coupée au couteau, laissant la gutta à nu. Il paraît bien difficile d'expliquer de pareils faits.

Une autre remarque curieuse, déjà faite au cours de revisions semblables, est que les câbles sont inégalement atteints, et dans l'ordre même de leur numérotage. Ainsi dans les 394 défauts réparés, le câble A figure pour 245, le câble B pour 125 et le câble C pour 24 seulement. D'autre part dans un même câble nous trouvons le gros fil toujours très peu atteint, et deux petits fils à peu près également atteints. Nous avons en effet réparé 112 défauts sur A_1 et 129 sur A_2 puis 59 défauts sur B_1 et 65 sur B_2, enfin 11 défauts sur C_1 et 11 aussi sur C_2.

(*A suivre.*) E. BRYLINSKI.

NOTICE

SUR

L'ÉTABLISSEMENT DU CIRCUIT TÉLÉPHONIQUE

ENTRE PARIS ET LONDRES

L'établissement des relations téléphoniques entre Paris et Londres est désormais un fait accompli. — Les difficultés que l'on craignait de rencontrer par suite de l'introduction d'un câble dans le circuit ont été surmontées et le problème a été résolu de la façon la plus complète et la plus satisfaisante au grand honneur des deux Administrations française et anglaise qui ont étudié de concert les conditions dans lesquelles il devait être abordé.

Des expériences préliminaires furent faites en 1889 sur les câbles télégraphiques qui relient Douvres à Calais (*). La conversation fut reconnue possible entre ces deux points, bien que l'on opérât sur des lignes qui n'avaient pas été établies dans ce but. On pouvait donc être certain que l'on aurait encore une meilleure transmission téléphonique en construisant et en immergeant un câble spécial dont la capacité et la résistance seraient sensiblement réduites et l'on pouvait espérer

(*) Ces expériences ont été faites par M. Amiot, inspecteur général adjoint, assisté de MM. de la Touanne et Cailho, représentant la France, et par MM. Kempe et Brown, représentant l'Angleterre.

que, en ajoutant des deux côtés du câble des lignes de cuivre d'une conductibilité élevée, on serait dans les conditions requises pour avoir une bonne communication entre Paris et Londres. C'est ce qui a été fait et l'expérience n'a pas déçu les prévisions des Ingénieurs.

Les points choisis pour les atterrissements du nouveau câble dont la pose avait été décidée à la suite des premières expériences dont nous venons de parler, furent Sangatte, à 8 kilomètres de Calais, en France, et la baie de Saint-Margaret, à 8 kilomètres de Douvres, en Angleterre. Ces atterrissements sont les mêmes que ceux du câble télégraphique de Calais à Douvres.

Le câble comporte quatre conducteurs susceptibles de former deux circuits téléphoniques. Les lignes terrestres doivent également comprendre quatre conducteurs en cuivre.

La ligne française n'en comporte encore que deux permettant l'établissement immédiat du premier circuit. Les deux autres fils doivent être posés dans le courant de l'année et bientôt les deux circuits pourront être exploités entre Paris et Londres.

Le fil employé sur cette ligne a été le fil de cuivre de 5 millimètres de diamètre. La longueur de la ligne est de 333 kilomètres. La résistance de chaque fil (mesurée après la pose au mois de juillet 1890) est de 294 ohms, soit de $0^{\omega},87$ par kilomètre. La ligne tourne en hélice d'une façon continue. Les points d'attache des deux fils la constituant sont aux extrémités d'une ligne droite qui, d'un poteau à l'autre, tourne de 45 degrés. Le pas de l'hélice décrit par chaque fil a une longueur de huit portées.

Cette disposition offre l'avantage que le circuit ne

peut être influencé par les circuits voisins, ce qui permet de placer les fils sur des poteaux portant déjà des conducteurs télégraphiques. En outre, par suite de la longueur donnée au pas de l'hélice, les croisements des fils n'ont lieu que sur les poteaux, ce qui rend les chances de mélange très faibles.

La ligne est prolongée à l'intérieur de Paris par un câble Fortin-Herrmann qui va de la guérite du Nord à la Bourse sur une longueur de 7^{k},940.

La résistance totale de chaque conducteur est de 70 ohms; la capacité est très faible. Elle atteint à peine 0^{φ},43.

La ligne anglaise, beaucoup plus courte, comporte dès à présent quatre conducteurs. Elle n'a que 84 milles; soit environ 135 kilomètres. Elle est aérienne jusqu'à son arrivée au Post office à Saint-Martin-le-Grand. Le diamètre des fils de cuivre employé est un peu inférieur à celui qui a été adopté pour la ligne française. La spécification des conducteurs est indiquée par leurs poids qui doit être de 400 livres anglaises par mille terrestre. Le diamètre correspondant est, à très peu de chose près, de quatre millimètres. La résistance des conducteurs de cette ligne est d'environ 2^{ω},25 par mille, soit de 189 ohms environ pour toute la longueur de la ligne. Cette ligne construite par le service du génie anglais a été terminée dans les premiers jours du mois de mars, quelques jours avant l'immersion du câble. C'est une ligne tout à fait distincte des lignes télégraphiques. Les isolateurs sont portés par deux traverses horizontales fixées sur des poteaux spéciaux à 14 pouces ou 36 centimètres l'une de l'autre. Les quatre points d'attache des fils forment sur chaque poteau un carré de 36 centimètres de côté.

Chaque conducteur va d'un sommet du carré au sommet voisin sur le poteau suivant effectuant ainsi le mouvement de rotation qui doit le débarrasser de toute influence extérieure.

Le câble destiné à relier les deux lignes terrestres dont nous venons de donner la description a été construit en Angleterre par la maison Siemens. Sa spécification a été fixée de manière à lui donner une capacité et une résistance inférieures à celles qui sont généralement attribuées aux câbles télégraphiques. Le poids du cuivre entrant dans la composition de l'âme est de 160 livres anglaises ou de 72 kilogrammes par mille marin ; le poids de la gutta-percha pour cette même longueur d'un mille est de 300 livres ou de 136 kilogrammes. Les diamètres correspondants du cuivre et de la gutta sont respectivement de $2^{mm},35$ et de $9^{mm},6$.

Les résistances des conducteurs mesurées à l'usine après la fabrication, à la température de 4 degrés centigrades, varient de $6^{\omega},991$ à $7^{\omega},001$ par mille marin. En faisant la réduction à 24 degrés, les chiffres correspondants sont de $7^{\omega},560$ et de $7^{\omega},572$. La capacité a été trouvée de $0^{cm},273$ par mille marin de câble pour chacun des conducteurs. Les isolements ramenés à 24 degrés centigrades étaient compris entre 2.000 et et 2.100 mégohms.

Les mesures faites après la pose du câble ont donné des résultats concordants avec ceux que nous venons d'indiquer. La capacité n'a pas varié sensiblement. Les résistances des conducteurs à la température du fond de la mer et sans correction sont comprises entre $142^{\omega},55$ et $142^{\omega},95$. La longueur du câble immergé étant de $20^{milles},25$ les chiffres correspondants par mille marin sont de $7^{\omega},03$ et $7^{\omega},05$.

Quant aux isolements ils atteignent des chiffres extrêmement élevés.

Telles sont les différentes conditions remplies par les âmes du câble. Ces âmes câblées ensemble sont destinées à former les deux circuits téléphoniques, les deux conducteurs opposés étant utilisés pour un même circuit. Par suite du câblage, chacun des circuits est soustrait aux influences étrangères; par le choix des conducteurs pris ensemble pour fournir un circuit, l'influence d'un circuit sur l'autre est absolument nulle.

Les quatre âmes câblées ensemble sont recouvertes de fil de jute tanné et d'une armature composée de 16 fils de fer homogène de 7 millimètres de diamètre.

Le diamètre intérieur du câble est d'environ 55 millimètres. Son poids par mille marin est d'environ $13^{T},7$.

Nous avons fait connaître comment était constitué le circuit complet entre Paris et Londres. Nous pouvons maintenant discuter *a priori* sa valeur au point de vue téléphonique. On sait que les deux éléments qui sur les lignes présentent un obstacle à la transmission de la parole sont la résistance et la capacité. Le produit CR de ces deux quantités permet d'apprécier la valeur d'une ligne au point de vue téléphonique, la ligne étant d'autant meilleure que ce produit est plus faible. On admet généralement avec M. Preece, l'éminent électricien anglais, que pour qu'une ligne puisse servir aux transmissions téléphoniques, le produit CR ne doit pas dépasser 10.000. Au delà de cette limite, la conversation devient très difficile. Pour avoir une très bonne conversation, il faut naturellement se tenir en deçà. Avec les progrès qui se réalisent chaque jour dans la construction des appareils téléphoniques, on peut espérer que cette limite ira sans cesse en s'élevant.

Mais on admet que dans l'état actuel il ne faut pas trop s'écarter du chiffre indiqué plus haut si l'on veut pouvoir utiliser les appareils qui sont d'un usage courant. Sur les lignes purement aériennes, il n'est pas difficile de se maintenir dans des conditions tout à fait pratiques quelle que soit la longueur de la ligne, en faisant usage de fils de cuivre de diamètre suffisant; car la capacité des fils aériens est excessivement faible. Sur les lignes souterraines ou sous-marines, au contraire, la capacité est beaucoup plus élevée et la limite au delà de laquelle la conversation devient impossible est rapidement atteinte dès qu'un câble est intercalé dans le circuit.

Examinons les conditions dans lesquelles se trouve le circuit de Paris à Londres au point de vue des transmissions téléphoniques.

Évaluons tout d'abord la résistance et la capacité des conducteurs :

Résistance :

1°	Conducteur	du câble Fortin-Herrmann	70$^{\omega}$
2°	—	de la ligne aérienne française. . . .	294
3°	—	du câble	143
4°	—	de la ligne aérienne anglaise. . . .	189
		Résistance totale.	696$^{\omega}$

Capacité. — Pour les fils des lignes aériennes nous admettons une capacité 0$^{\varphi}$,01 par kilomètre. Nous avons alors pour les différentes parties de la ligne les capacités suivantes :

1°	Conducteur	du câble Fortin-Herrmann.	0,43
2°	—	de la ligne aérienne française. . .	3,33
3°	—	du câble.	5,52
4°	—	de la ligne aérienne anglaise. . . .	1,36
		Capacité totale.	10,64

Le produit CR est dans ces conditions de 7.430 en chiffre rond.

Si nous considérons un circuit formé de deux fils qui soient absolument identiques dans toute l'étendue de la ligne, le produit CR est le même que si la ligne comportait un seul fil. En effet, la résistance est doublée. Mais la capacité est diminuée de moitié. C'est un fait d'expérience. On peut d'ailleurs se rendre compte facilement qu'il en doit être ainsi; car on peut considérer l'ensemble des deux conducteurs et de la substance isolante qui les entoure comme une série de condensateurs assemblés deux à deux en cascades.

Quoiqu'il en soit, le produit CR est le même pour deux conducteurs que si l'on en considérait un seul et dans le cas actuel ce produit est d'environ 7.430, nombre sensiblement inférieur à celui qui est fixé comme limite aux conversations possibles. On pouvait donc être tout à fait certain *a priori* que la conversation serait bonne de Paris à Londres, du moins de bureau central à bureau central. Quand aux conversations d'abonné à abonné, il est à remarquer qu'elles empruntent, en plus des lignes précédentes, des lignes en câble dont l'intervention augmente notablement le produit CR et il était nécessaire d'attendre que des expériences probantes fussent faites à cet effet.

Dans les conditions où se posait la question, les deux gouvernements français et anglais n'hésitèrent pas à entreprendre l'établissement d'un circuit international qui est appelé à rendre les plus grands services aux deux pays. Les deux fils du premier circuit furent posés en France dès le mois de juillet 1890. Les quatre fils furent posés simultanément en Angleterre et la ligne achevée dans les premiers jours du mois de mars 1891.

Pendant ce temps, le câble, conforme à la spécification que nous avons indiquée plus haut, était fabriqué à l'usine Siemens, à Charltown et, après sa réception, embarqué sur *le Monarch*, bâtiment télégraphique du gouvernement anglais qui devait en effectuer l'immersion, sous la direction de M. Lumsden, superintendant du service sous-marin au Post office. Cette opération devait s'accomplir dans des conditions assez difficiles.

Le jour choisi pour la pose du câble était le 4 mars. On s'était décidé pour cette date afin de pouvoir opérer les atterrissements au moment des marées de morte eau. Le mercredi 4 mars au matin, le *Monarch* mouillait devant Sangatte où il devait prendre à bord les Ingénieurs français chargés de représenter le Gouvernement (*). L'extrémité du câble devait être amenée à terre, puis le déroulement opéré dans la direction de Saint-Margaret. Pour la première de ces opérations une mer assez calme pour permettre à un canot d'accoster le rivage est nécessaire. Ce n'était malheureusement pas le cas; la mer déferlait avec force et il fallut attendre une journée plus propice. Pendant cinq jours, il fut absolument impossible de tenter l'opération.

Le lundi 9 mars, le vent était tombé, la mer relativement calme; on en profita pour amener le câble à terre. Le *Monarch* était mouillé à 2 kilomètres environ du rivage. La longueur du câble à conduire à terre fut lovée sur un radeau formé à l'aide de deux canots accouplés. Les loves furent successivement immergées et l'extrémité amenée sans accident jusqu'à la guérite française.

(*) M. Amiot, inspecteur général adjoint, assisté de MM. Massin et Thomas.



A midi cette première opération était terminée. Tout le personnel était de retour à bord et le *Monarch* se dirigeait sur Saint-Margaret en déroulant le câble à une vitesse de quatre à cinq nœuds à l'heure. L'immersion se faisait par l'avant. Le *Monarch* ne possède pas en effet de poulie d'arrière. Ses opérations habituelles consistent principalement en réparations des câbles qui relient l'Angleterre au continent ou des câbles côtiers. Les immersions qu'il a à faire n'ont jamais lieu que par des fonds peu profonds, et dans ce cas il a semblé préférable aux Ingénieurs anglais de s'affranchir de la manœuvre qui consiste, après avoir relevé un câble sur la poulie d'avant, à le faire passer pour le déroulement de l'avant à l'arrière du navire.

Le déroulement n'était pas commencé depuis longtemps quand le temps redevint subitement très mauvais. La neige commençait à tomber à gros flocons, tandis que le vent d'est s'élevait avec force. Jusqu'à quatre heures et demie le *Monarch* continua sa marche sans vue aucune, allant toujours dans la direction de Saint-Margaret. La neige n'avait pas cessé de tomber et une brume épaisse entourait le navire. On découvrit tout à coup les falaises anglaises dont le *Monarch* n'était pas à plus de 400 ou 500 mètres. On jeta alors l'ancre et l'on reconnut à l'examen de la côte que l'on se trouvait près de Saint-Margaret. Le navire n'avait pas dévié sensiblement de la marche qu'il s'était proposé de suivre. Il se trouvait seulement un peu au N.-E.; car il devait arriver à Saint-Margaret en laissant sur sa droite le câble télégraphique de Douvres à Calais, et il se trouvait actuellement à sa gauche, les deux câbles s'étant croisés depuis quelques milles.

Avec le vent d'est qui soufflait avec force et l'état

actuel de la mer, il ne fallait pas songer à passer la nuit dans la position où se trouvait le navire à quelques centaines de mètres à peine des falaises. Il était, d'un autre côté, pénible de couper le câble et de l'attacher à une bouée. Il avait été fabriqué à l'usine en une seule section; il eût été évidemment désirable de l'immerger d'un bout à l'autre sans introduire d'épissure. Le parti auquel s'arrêta l'Ingénieur en chef anglais fut en conséquence le suivant : dérouler complètement ce qui restait de câble dans la cuve en suivant une route parallèle à la côte, frapper l'extrémité à une bouée et mettre le navire à l'abri. Au premier beau temps, on relèverait le câble déroulé en trop jusqu'en face de Saint-Margaret, et on choisirait le moment propice pour faire l'atterrissement sans difficulté.

Un contretemps fâcheux se présenta dès le début de l'exécution de ce programme. Le câble suspendu à la poulie d'avant du navire s'était engagé dans l'ancre. En relevant celle-ci, on ne fit qu'empirer la situation; le câble forma autour de l'ancre un nœud inextricable qu'on ne pût dégager dans l'obscurité où l'on se trouvait alors. Après de vains efforts et en présence de la mer qui devenait de plus en plus grosse, on abandonna provisoirement l'ancre avec le câble. On immergea tout le câble qui restait à bord dans les conditions que l'on s'était proposé et, vers dix heures du soir, le *Monarch* allait chercher un refuge dans la baie des Downs, entre la ville de Deal et le banc de sable du Goodwin, qui fournit une protection efficace contre les vents d'est. Grâce à cet abri, le *Monarch* put échapper à la tempête qui a sévi sur la Manche dans la nuit du 9 au 10 mars et qui donna lieu à plusieurs sinistres.

Jusqu'au 12 mars, le *Monarch* dut rester soit dans la baie des Downs, soit dans le port de Douvres.

Le 12, on relève le câble jusqu'au point où il s'est engagé dans l'ancre. En soulevant l'ancre, on reconnaît que le câble a fait autour d'elle plusieurs tours complets formant deux ou trois nœuds très serrés. Les essais électriques faits à bord démontrant que l'âme était intacte, on chercha à opérer le dégagement du câble. Mais il fallut la journée pour ce travail ingrat et quand enfin on eût abouti, on dut reconnaître que l'armature avait subi une torsion telle qu'il serait imprudent, au point de vue de la sécurité du câble, de l'immerger dans les conditions où il se trouvait. Force fut donc de se résoudre à supprimer la partie avariée et d'admettre l'introduction d'une épissure. Le câble fut coupé en ce point, frappé à une nouvelle bouée et la suite de l'opération remise au lendemain.

Le lendemain, le mauvais temps d'Est avait reparu et il fallut attendre au 14 pour reprendre le travail.

Le 14, au matin, on fait l'épissure entre le câble actuellement immergé et celui qui reste dans la cuve, on relève ensuite environ cinq milles. Le tracé projeté pour le câble téléphonique se trouvait constamment à gauche du câble télégraphique entre Sangatte et Saint-Margaret. Or, dans l'immersion qui avait eu lieu le 9, on avait croisé ce câble à une certaine distance de la côte anglaise et on se trouvait sur la droite. Il importait, pour rendre faciles les réparations éventuelles des deux câbles, de modifier cette disposition et voilà pourquoi on avait opéré le relèvement que nous venons d'indiquer. On poursuivit cette opération jusqu'à ce que l'on eût dépassé d'un mille environ le câble télégraphique. Puis l'immersion fut reprise, le *Monarch* se

maintenant, autant que possible, à un mille du câble télégraphique. A 800 mètres de la côte, on mouille l'ancre et la longueur nécessaire à l'atterrissement lovée sur deux canots jumelés est amenée à la guérite de Saint-Margaret.

A six heures du soir, l'extrémité du câble était en place. Il ne restait plus qu'à recouvrir la tranchée préparée sur la grève pour le recevoir. L'opération qui avait duré presque une semaine et qui s'était accomplie dans des conditions particulièrement difficiles fait le plus grand honneur à l'Ingénieur qui l'a dirigée et qui l'a menée à bonne fin.

La longueur du câble immergé est de $20^{\text{milles}},25$.

Pendant l'immersion, le navire restait en communication avec la guérite de Sangatte par un appareil Morse monté sur le conducteur n° 1 du câble. Les conducteurs n°s 2 et 3 étaient bouclés à la guérite et le conducteur n° 4 y était isolé. On avait ainsi deux conducteurs dont on pouvait observer constamment la résistance et un autre dont on pouvait observer l'isolement. En réunissant à la chambre d'expériences du bord les conducteurs 3 et 4, on pouvait même observer l'isolement des trois conducteurs réunis en tension.

Après l'immersion, les conducteurs du câble devaient être réunis aux fils aériens à l'une et à l'autre guérite à travers des paratonnerres d'un modèle fourni par le Post office et qui comportent, à la fois, un fil préservateur très fin en platine et une plaque protectrice placée en dérivation, et séparée de la plaque de terre par un rectangle évidé en mica.

Les essais électriques furent faits le lundi 16 mars à la guérite de Saint-Margaret. Nous en indiquons ici les principaux résultats :

Résistance.

	Résistance totale	Résitance par mille
Fil n° 1.	$142^{\omega},95$	$7^{\omega},06$
— 2.	142 ,65	7 ,04
— 3.	142 ,55	7 ,05
— 4.	142 ,55	7 ,04

Capacité. — La capacité est la même pour les quatre fils. Capacité totale 55$^{\varphi}$,524. Capacité par mille 0$^{\varphi}$,273.

Pertes de charge

Fil n° 1.	3,10 p. 100
— 2	0,59 —
— 3	0,59 —
— 4.	0,74 —

Isolement. — L'isolement de chaque fil a été observé alternativement avec le courant positif et le courant négatif.

L'électrification avec chaque courant durait quinze minutes et les observations étaient faites de demi-minutes en demi-minutes. Après chacune de ces électrifications, le conducteur était mis à la terre pendant cinq minutes et les déviations du galvanomètre observées également de demi minutes en demi-minutes.

Sans reproduire ici les chiffres notés pendant les expériences, contentons-nous de dire que le spot du galvanomètre était affecté de légères oscillations qui n'étaient pas assez fortes pour permettre de mettre en doute la valeur du câble. Les isolements très élevés peuvent être représentés par les chiffres suivants (isolements après une minute d'électrification négative) :

	Isolement total	Isolement par mille
Fil n° 1.	680Ω	13.770Ω
— 2.	1.700	34.425
— 3.	2.040	41.310
— 4.	1.416	28.674

A la fin des essais électriques, quelques paroles furent échangées entre Saint-Margaret et Paris par l'appareil d'Arsonval et par l'appareil Gower Bell. On pouvait constater, dès lors, que la parole franchissait le câble sans la moindre difficulté ; on avait une très bonne conversation avec l'un et avec l'autre de ces appareils.

Le mardi 17 mars, à l'arrivée des Ingénieurs français à Londres, les premières paroles furent échangées avec succès entre Paris et Londres et, le lendemain 18, eut lieu l'inauguration officielle ; M. Jules Roche, Ministre du commerce, de l'industrie et des colonies et M. Raike, Ministre des postes et télégraphes d'Angleterre, purent échanger leurs congratulations.

Les expériences faites les jours suivants entre Paris et Londres eurent pour objet :

1° De faire des essais comparatifs entre les différents appareils téléphoniques entre le Bureau central de Londres et celui de Paris ;

2° De faire des essais de transmission entre un abonné de Paris et le Bureau central de Londres, ainsi qu'entre un abonné de Londres et le Poste central de Paris ;

3° De faire des essais de transmission entre deux abonnés l'un de Londres, l'autre de Paris.

Dans la première série d'expériences, on reconnut que tous les appareils usités soit en France soit en Angleterre pouvaient faire un bon service de Poste central à Poste central.

La seconde série d'expériences se fit d'abord en installant à Paris les appareils téléphoniques ;

1° Au bureau succursale de l'avenue des Gobelins ;

2° Dans les bureaux de l'Observatoire qui possèdent un fil relié au bureau de l'avenue des Gobelins.

Le bureau de l'avenue des Gobelins est relié au Bureau central de l'avenue de l'Opéra par une ligne en gutta-percha de 5 kilomètres environ. L'Observatoire est relié à l'avenue des Gobelins par un autre conducteur recouvert de gutta-percha de 2 kilomètres. Le bureau de l'avenue de l'Opéra est d'ailleurs relié à la Bourse par un câble Fortin-Herrmann très court.

Les appareils téléphoniques étant placés successivement en ces deux points, permettaient de correspondre avec le Post office de Londres.

On correspondit ensuite au Poste central de Paris, avec un bureau succursale de Londres placé à la Trésorerie, à Westminster, et relié au Post office par une ligne en gutta-percha de 4 kilomètres environ.

La troisième série d'expériences se fit en correspondant des bureaux de l'Observatoire à Paris au bureau de la Trésorerie à Londres.

On ajoutait ainsi au circuit direct de Paris à Londres une longueur de 11 kilomètres environ de câble en gutta-percha et une faible longueur de câble Fortin-Herrmann. On pouvait se considérer comme placé dans les conditions ordinaires des communications d'abonné à abonné, et cette dernière série d'expériences était à ce point de vue extrêmement intéressante.

Les résistances et les capacités ajoutées à chaque conducteur étaient environ les suivantes :

	Résistance	Capacité
Câble en gutta, à Paris (R = 30^{ω} par kilomètre)...	210	1,68
— à Londres (R = 22^{ω} par kilomètre)...	88	0,96
	298	2,64

La ligne complète a dans ces conditions une résistance de 994 ohms et une capacité de 13^{φ},28.

Le produit CR est dans ces conditions de 13.200 environ. La limite 10.000 admise généralement pour les bonnes conversations est notablement dépassée et cependant les conversations ont été possibles soit avec le Gower Bell, soit avec l'Ader, soit avec l'appareil Roulez. Avec l'appareil Ader on avait mis les téléphones en dérivation entre les deux bornes de lignes. M. Cailho a indiqué précédemment dans ce recueil les avantages d'une semblable disposition (*).

Avec le Gower et l'Ader et principalement avec la disposition que nous venons d'indiquer, la conversation était très nette; mais, il faut le reconnaître, un peu faible et peut-être des personnes qui ne sont pas habituées à l'usage des appareils téléphoniques pourraient-elles ne pas la trouver suffisamment pratique.

Avec l'appareil Roulez, muni du dispositif dont la description est donnée dans ce numéro même des *Annales* (**), la voix conserve toute sa force malgré l'adjonction des câbles souterrains aux deux extrémités.

La conversation entre Paris et Londres est dès à présent assurée. Le service va se faire dans quelques jours entre quelques postes déterminés à Paris et quelques postes également déterminés de Londres. D'après les expériences dont nous venons de parler, le succès n'est pas douteux et le service pourra encore être amélioré si l'on remplace les câbles souterrains en gutta-percha par des câbles de capacité moindre, et si l'on choisit judicieusement les appareils.

H. THOMAS.

(*) Septembre-octobre 1889, p. 405.
(**) V. p. 184.



NOTE

SUR UNE MODIFICATION APPORTÉE AU MONTAGE

DES COMMUNICATIONS INTÉRIEURES

DES APPAREILS TÉLÉPHONIQUES

Le circuit téléphonique de Paris à Londres, sur la constitution et la construction duquel un article de M. Thomas donne, dans ce numéro même (*), des renseignements détaillés, a été complété le samedi 14 mars, par la pose du câble sous-marin de Sangatte à Saint-Margaret.

Le mardi suivant, une première expérience permit de voir que le succès couronnait l'entreprise et que la communication était facile entre bureaux centraux. Tous les appareils adoptés en France pour les réseaux souterrains permettent de converser plus ou moins facilement. Avec le Gower Bell, l'appareil du Post office, les conversations s'échangent également sans difficultés.

Parmi ceux qui, au point de vue du volume et de la capacité du son, nous semblent tenir la tête, se trouve l'appareil Roulez, qui n'a pas encore été présenté aux lecteurs des *Annales* et dont voici, en quelques mots, la description.

(*) V. p. 168.

La plaque vibrante est une plaque de charbon de 10 centimètres de diamètre.

Sur cette plaque vient s'appliquer (*fig.* 1 et 2), maintenu par deux écrous, un prisme en charbon de 7 centimètres de long. La face de contact est recouverte d'une feuille de bristol qui joue le rôle d'isolant.

La plaque et le prisme isolés l'un de l'autre par la feuille de bristol, constituent les deux pôles du microphone.

Le courant primaire va de l'un à l'autre en traversant des débris de charbon de lampes à incandescence, placés dans trois coupelles creusées dans le prisme à travers la feuille de bristol.

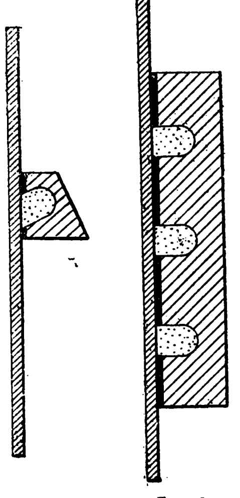


Fig. 1 Fig. 2.

Nous avons dit que la communication était facile entre le Post office et Paris central, mais dès que soit à Paris soit à Londres, on ajoute à la ligne les câbles sous-gutta et à grande résistance qui relient les bureaux centraux aux bureaux secondaires, les conditions changent, les sons s'assourdissent et la communication encore pratique entre deux personnes habituées à écouter et à parler au téléphone n'est plus que *posssible* d'une façon générale.

Et si l'on prend la question dans toute sa complexité, et si l'on essaie de converser d'abonné à abonné entre Paris et Londres, on constate que la voix arrive bien nette, mais avec un volume insuffisant pour une exploitation téléphonique.

Avec l'organisation actuelle des réseaux urbains, un

seul appareil a pu réunir la qualité et le volume de son désirable.

C'est un microphone Roulez auquel nous avions adapté la disposition figurée ci-contre.

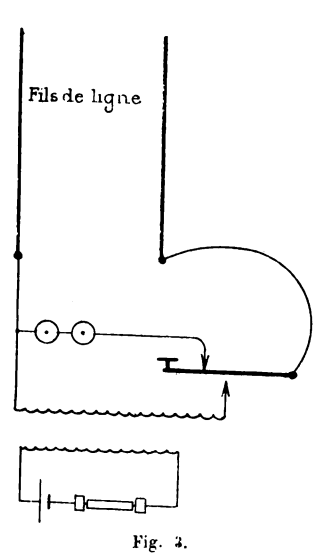


Fig. 3.

Les récepteurs et le circuit secondaire de la bobine sont placés en dérivation sur l'un des deux fils, et une clef spéciale, communiquant avec le second fil, ferme le circuit téléphonique soit sur les récepteurs, soit sur la bobine, mais ne permet pas à ces deux organes de se trouver simultanément en ligne.

Au lieu de cette disposition réalisée dans l'appareil qui a fonctionné entre l'Observatoire de Paris et la Trésorerie de Londres, on peut maintenir constamment embrochés en série sur le circuit, la bobine d'induction et les récepteurs, comme dans le montage ordinaire, et se contenter de neutraliser constamment et successivement l'un ou l'autre de ces deux organes au moyen de courts circuits.

Les avantages théoriques de la modification que nous avons introduite au montage ordinaire sont les suivants :

1° Les récepteurs ne nuisent pas à la transmission et la présence du transmetteur n'affaiblit plus la réception ;

2° L'opérateur n'a plus au départ, dans le cas de

longues lignes, les oreilles assourdies par les courants qu'émet son transmetteur et qui traversent ses propres récepteurs ;

3° Il est possible d'augmenter les courants circulant dans les circuits primaires, sans avoir à craindre que les courants, traversant le microphone de l'arrivée, ne provoquent, dans les récepteurs de l'arrivée, des crépitements qui troubleraient l'audition.

Dans les essais entre l'Observatoire et la Trésorerie, nous avons employé une pile de 10 éléments Lalande montés en série. Avec le Roulez non modifié, une pareille pile produit dans les récepteurs des crépitements assourdissants, et il est impossible de converser.

Grâce à notre modification au contraire, la conversation était parfaite, la voix arrivait pleine et claire, et l'on pouvait même écarter les récepteurs à une certaine distance des oreilles sans cesser de comprendre parfaitement son correspondant.

Cette modification présente donc des avantages pratiques indéniables ; elle a permis, appliquée au Roulez, d'augmenter entre l'Observatoire et la Trésorerie l'intensité des sons reçus dans la proportion de 1 à 4, rendant ainsi pratique à l'exclusion de tout autre système essayé, la conversation d'abonné de Paris à bureau succursale de Londres ; mais elle présente deux inconvénients qui sont d'abord la manœuvre de la clé, et puis l'impossibilité où l'on se trouve de couper son correspondant, puisque l'on ne peut se faire entendre de ce dernier lorsqu'il transmet.

La clé est logée dans le manche d'un des récepteurs, elle se manœuvre avec le pouce de la main droite, on appuie sur le bouton pour transmettre et on relève le pouce pour écouter. Cette manœuvre très simple s'ap-

prend très facilement et, au bout de deux ou trois minutes de conversation, on l'exécute automatiquement et sans y penser.

L'impossibilité où l'on se trouve de couper son correspondant, nous paraît être le seul inconvénient réel que présente la disposition que nous proposons ; mais l'on peut se demander si cet inconvénient n'est pas compensé largement par l'augmentation de portée donnée au téléphone, et la possibilité de réaliser par exemple, entre Paris et Londres, la communication d'abonnés de Paris à bureau succursale de Londres.

E. Massin.

CHRONIQUE.

Sur la question du raccordement des paratonnerres aux conduites de gaz et d'eau (*).

Par M. le Professeur NEESEN.

Les autres arguments invoqués par nos adversaires ne s'expliquent, comme celui que je viens d'examiner, que par le manque d'une exacte intelligence des phénomènes physiques. Je ne puis découvrir par les lois physiques, par exemple, comment la foudre, amenée dans une ligne de tuyaux reliée à un paratonnerre, pourrait être conduite par ces tuyaux dans d'autres bâtiments. M. Schilling cite des exemples à l'appui — dit-il — de ceci. Dans l'un de ces exemples, une conduite a été frappée par la foudre à une certaine place, et des détériorations ont eu lieu en même temps à deux autres places reliées à la même conduite de tuyaux. M. Schilling suppose facilement que ces différentes places n'ont pu être frappées par plusieurs décharges simultanément ou à peu de temps de distance ; c'est pourtant ce qui s'est passé en fait. Dans le second exemple, toutes les lanternes situées dans un assez grand périmètre se sont éteintes après un coup de foudre. Personne ne nie qu'une violente secousse imprimée au gaz puisse se propager; mais est-ce le choc en retour d'une décharge électrique que les lanternes ont reçu? Où est le dommage éprouvé? Et enfin, cet accident n'est-il pas arrivé précisément parce que la conduite, qui n'était pas reliée à un paratonnerre, a été détruite à un endroit, ce qui n'eût pas eu lieu si une jonction avait existé?

Nous retrouvons de semblables obscurités dans toutes les allégations des adversaires de la jonction.

L'un d'eux, par exemple, cherche à expliquer l'absence pré-

(*) Voir *Annales télégraphiques*, p. 91.

tendue d'influence des conduites de tuyaux sur les dangers de la foudre par ceci que la masse métallique que ces tuyaux représentent dans un bâtiment est insignifiante en comparaison des autres masses métalliques de la bâtisse. Comme s'il existait un rapport entre le poids de métal et les phénomènes de charge électrique! Dans le même ordre d'idées, je trouve très caractéristiques les idées d'un directeur d'usine à gaz consignées dans le rapport fait à l'assemblée de Stettin. La conduite de gaz était reliée au conducteur du téléphone; la conduite d'eau ne l'était pas. Les deux conduites se croisaient en se rapprochant de très près. Au point de croisement au moment d'un coup de foudre, une étincelle partant de la conduite de gaz vers la conduite d'eau les avait détruites toutes deux, d'où le gazier qui rapportait le fait tirait la conclusion que les conduites de tuyaux ne doivent, en aucun cas, être reliés aux paratonnerres. L'avis des physiciens eût été que la destruction eût été évitée si les deux conduites avaient été reliées.

Quant au danger que courent les ouvriers qui travaillent aux tuyaux, il est exactement le même, que les conduites soient ou ne soient pas reliées aux paratonnerres. Ici, comme dans tout le reste, on se contente de dire qu'il peut arriver ceci ou cela, là où la jonction existe. Mais nul ne cite un fait réel par lequel se serait traduit un de ces dangers chimériques, malgré que les jonctions existantes soient innombrables.

J'ai gardé pour le dernier l'argument du gazier et des hydrauliciens qui concerne le droit de propriété. On ne peut contraindre un particulier propriétaire de tuyaux de conduite aussi longtemps qu'il n'existe pas de jurisprudence dans ce sens. Tout ce que l'on peut faire, c'est d'émettre le vœu que les propriétaires des conduites se montrent assez libéraux pour autoriser la jonction, qui ne leur cause aucun dommage et qui doit préserver les bâtiments de danger, lors même que l'utilité de cette jonction pour leur propriété (les conduites) leur paraîtrait de peu d'importance. Mais la question se pose autrement, à mon avis, pour les conduites qui sont des propriétés municipales. Les administrations municipales n'ont pas à considérer leur intérêt comme le fait un particulier; elles doivent examiner comment les objets qui constituent leur pro-

priété peuvent être le mieux utilisés au profit de la communauté, même s'il doit résulter de là des charges légères, telle que celle de répondre à des demandes ou celle de faire surveiller les travaux de jonction. Plus pressante encore doit être, pour une administration municipale, la considération des dangers qu'entraîne l'absence de raccordement, dangers qu'on a souvent fait ressortir. Que sont quelques fuites de gaz ou d'eau, quelques joints défaits, en comparaison des dangers que peuvent courir la fortune et la vie des citoyens?

Pour propager notre manière de voir, votre commission (commission spéciale nommée par la Société Électrotechnique de Berlin) a jugé utile de réunir les matériaux d'une statistique. Elle a fait insérer l'année dernière dans les journaux un avis par lequel elle sollicite l'envoi de données sur les coups de foudre qui ont atteint des conduites de gaz ou d'eau. Elle a reçu jusqu'ici en réponse trente-deux communications, dont quelques-unes relatent plusieurs faits. En y joignant les faits dont on avait déjà précédemment connaissance, j'ai établi un classement en cinq divisions :

1. Cas dans lesquels la décharge a passé d'un paratonnerre dans les conduites de gaz ou d'eau non reliées au paratonnerre.

2. Cas dans lesquels des conduites de gaz et d'eau ont été atteintes, et où il n'existait pas de paratonnerre.

3. Cas dans lesquels il a été démontré qu'un paratonnerre relié aux conduites de gaz ou d'eau avait été atteint par l'éclair.

4. Cas dans lesquels la décharge a passé du paratonnerre dans des conducteurs présentant des conditions semblables à celles des conduites de gaz et d'eau.

5. Autres cas signalés par les correspondants.

J'ai trouvé 39 cas de la première espèce, 38 de la deuxième, 7 de la troisième, 8 de la quatrième et 7 de la cinquième; sur le total de 99 cas; dans 84 cas, le danger des conduites de gaz et d'eau non reliées à un paratonnerre a donc été confirmé. Si l'on tient compte de ce que la grande majorité de ces accidents est de date récente, puisqu'il n'y a que quelques années que l'attention s'est portée sur la question, il est hors de doute qu'il y en a eu un grand nombre de semblables antérieurement; cela seul suffirait à mettre à néant les assertions

sur l'inutilité du raccordement des tuyaux de conduite aux paratonnerres.

Les cas n° 3 sont particulièrement instructifs. Ce n'est que rarement que l'on peut constater qu'un paratonnerre a été atteint par la foudre, puisque l'effet du paratonnerre est précisément de rendre la décharge inoffensive. De là le faible nombre de cas observés (8). Mais tous, sans exception, démontrent l'utilité du raccordement. Il ne s'est, en effet, produit un dégât quelconque dans le réseau des conduites reliées au paratonnerre que dans un seul de ces huit cas, où la décharge a passé des tuyaux de gaz, qui étaient reliés au paratonnerre, dans la conduite d'eau, qui ne l'était pas : cas particulier sur lequel j'ai déjà appelé l'attention plus haut, et qui ne fait que confirmer la nécessité du raccordement.

Les dommages causés par la foudre dans les 84 cas où les conduites n'étaient pas reliées ont été de natures diverses.

Le plus souvent ils ont été d'ordre mécanique : destruction de maçonneries, d'enduits, etc. ; mais il y a eu aussi des incendies et des explosions.

Les renseignements réunis jusqu'ici ont de plus fourni des données qui contribueront à éclaircir divers points importants pour l'établissement des paratonnerres.

(Société Électrotechnique de Berlin, 27 mai 1890.)
Traduction de la *Revue internationale de l'électricité*.

Gérant, Vᵉ DUNOD. — PARIS. — IMP. C. MARPON ET E. FLAMMARION, RUE RACINE, 26.

ANNALES

TÉLÉGRAPHIQUES

Année 1891 Mai-Juin

SYSTÈME DE TÉLÉGRAPHIE MULTIPLEX DE M. E. MERCADIER

Ce système est fondé :

1° Sur la coexistence des petites ondulations électriques simultanément émises sur un conducteur aérien, souterrain ou sous-marin, et leur croisement sans confusion, un courant continu ou une charge électrostatique permanente étant établis préalablement ou non sur ledit conducteur.

2° Sur l'emploi de transmetteurs d'une disposition et d'une nature nouvelles.

3° Sur l'emploi de récepteurs nouveaux séparant les vibrations électriques de rythmes différents.

Il a pour but de transmettre *simultanément* sur une même ligne, *dans un sens ou dans l'autre*, *plusieurs*

signaux suivant un alphabet conventionnel, tel que le Morse. C'est pourquoi je lui donne la qualification de *multiplex*, suivant la signification attribuée généralement aux mots *duplex*, *quadruplex*,... etc. Il comporte plusieurs modes de transmissions et un seul mode de réception, qui vont être successivement décrits.

I.

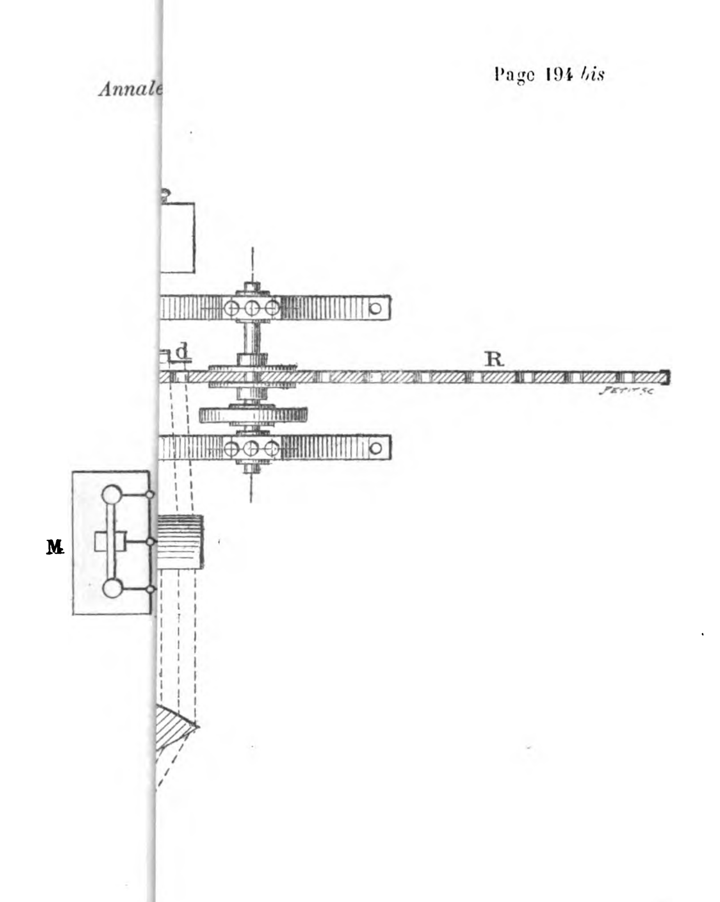
TRANSMISSION TÉLÉRADIOPHONIQUE.

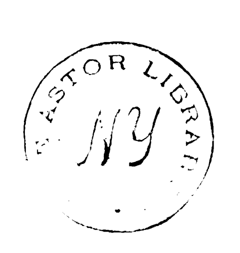
[A] *Transmetteur téléradiophonique photique ou « téléphotophone. »*

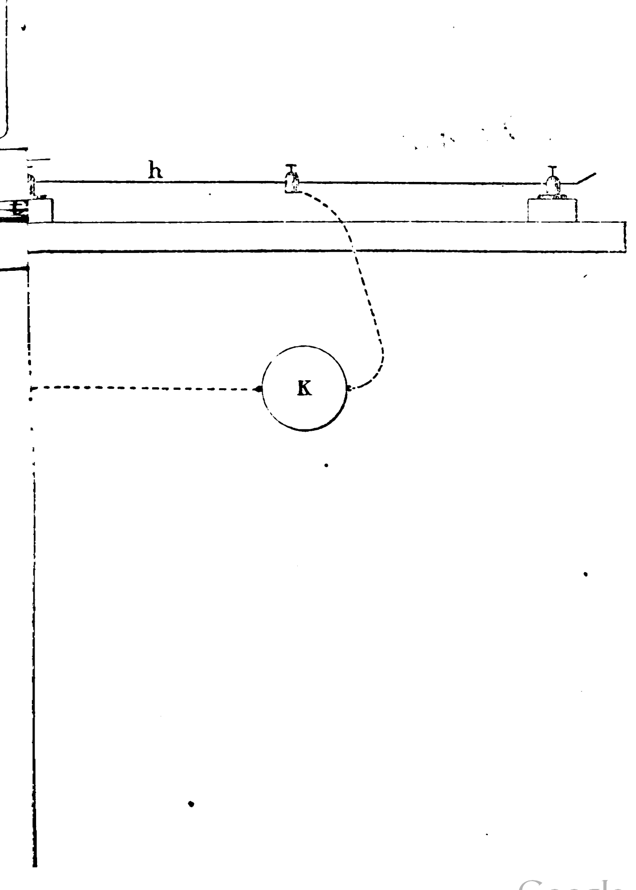
Dans ce cas, le transmetteur se compose de quatre parties:

1° *Dispositif optique.* — Un faisceau de rayons lumineux parallèles provenant d'une source quelconque S (*fig.* 1) suffisamment intense, lampe oxyhydrique, lampe électrique à incandescence ou à arc,... etc. Le faisceau traversant une lentille cylindrique C donne une image rectangulaire d'environ 1 centimètre de largeur et de 6 à 8 centimètres de longueur.

2° *Dispositif interrupteur.* — Une roue interruptrice R, de vitesse constante (*fig.* 1 et 2), destinée à produire dans le faisceau lumineux des intermittences suivant des rythmes différents. A cet effet, si elle est en métal, zinc, cuivre, aluminium,... etc., elle est percée de plusieurs séries d'ouvertures de nombres différents ; si elle est en verre, on colle sur la surface un disque en papier épais percé à l'avance de plusieurs séries de trous.


d
R
M
PETIT SC




h
K


ASTOR LIB

Sur une roue de 55 centimètres de diamètre, on peut avoir sept séries d'ouvertures circulaires de 10 millimètres de diamètre, dont les nombres sont entre eux comme les nombres des vibrations des sons d'une gamme diatonique par exemple : Ut_4, $Ré_4$, Mi_4, Fa_4, Sol_4, La_4, Si_4.

Il en résulte que la partie du faisceau lumineux qui traverse chaque série d'ouvertures, sera interceptée par les parties pleines de la roue tournant à une vitesse constante d'environ onze tours par seconde, suivant le rythme spécial à chaque série. Cette vitesse suffit pour obtenir, dans la série extrême à 95 ouvertures, 1.045 interruptions par seconde : or le Si_4 correspond à 974 vibrations environ par seconde.

En donnant aux sept séries le nombre d'ouvertures 50, 56, 63, 67, 75, 84 et 95, on a très approximativement les sons de la gamme diatonique.

Pour abréger dans ce qui va suivre, je désignerai les séries d'ouvertures et les rayons lumineux qui les traversent, par le nom de la note correspondante de la gamme d'indice 4, ainsi : série et rayon $Ré_4$, série et rayon Sol_4,... etc.

3° *Radiophone.* — Un radiophone électrique de forme rectangulaire F (*fig.* 1) assez grand pour recevoir les sept rayons Ut_4, $Ré_4$... Il doit avoir une très grande résistance et une sensibilité suffisante aux radiations; il est formé de l'un des corps suivants : sélénium, alliage de sélénium et de tellure, noir de fumée, sulfure, iodure, bromure, chlorure d'argent, sulfure d'étain, sulfure d'antimoine, galène, oxydes de cuivre et de fer, phosphure de zinc.

Je décrirai seulement la préparation de radiophones

à sélénium, à sulfure d'argent et à sulfure d'étain ; les autres se construisent de la même manière.

Le radiophone à sélénium (*fig.* 3) est formé de deux lames en laiton L, L', de 2 centimètres de largeur et de 6 à 10 centimètres de longueur juxtaposées, mais recouvertes de couches de carton d'amiante A, qui les serrent l'une contre l'autre tout en les isolant; elles sont réunies à leurs extrémités par deux traverses d'ébonite E, E'. Sur l'amiante sont enroulés en spirales serrées et parallèlement deux fils métalliques en platine, cuivre, laiton,... etc., marqués *f* et *f'* sur la figure (*f'* en pointillé); les deux bouts du fil *f* sont fixés à la lame L ; ceux de *f'* à la lame L'.

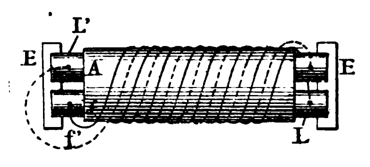


Fig. 3.

Avant de fixer les traverses en ébonite, l'appareil est chauffé sur une plaque de mica à la température juste suffisante pour qu'un crayon de sélénium appuyé sur lui commence à fondre (environ 210 degrés) ; on promène alors rapidement le crayon sur la surface de l'appareil avec précaution, de façon à bien remplir les intervalles entre les deux fils *f* et *f'*, et en maintenant la température constante; on laisse ensuite refroidir de manière que la surface séléniée conserve une teinte ardoisée.

En laissant un intervalle d'environ un millimètre entre les deux fils on obtient un système très sensible à une lumière intense, comme la lumière oxyhydrique ou électrique; sa résistance électrique s'élève graduellement jusqu'à 300.000 ohms environ, et reste ensuite constante pendant plusieurs années, sans que l'appareil perde ses propriétés. En diminuant l'inter-

valle entre les deux fils, on peut diminuer cette résistance.

Le radiophone à sulfure d'argent (*fig.* 4) est formé

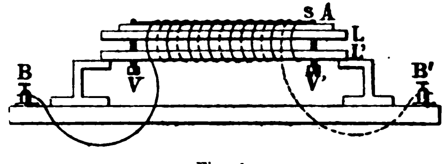


Fig. 4.

de fils métalliques tels que : argent, platine, aluminium, fer,... etc., enroulés de la même manière sur une couche de sulfure S étendue d'abord sur une lame isolante A d'amiante, de liège ou de mica ayant la forme d'un cylindre convexe. Les fils embrassent deux lames d'ébonite L, L', qui peuvent être écartées l'une de l'autre par deux vis V, V', ce qui permet (point très important) de faire varier à volonté la pression des fils sur la couche de sulfure. Ces fils aboutissent d'ailleurs, comme ceux du radiophone précédent, à deux bornes isolées B et B'. La couche de sulfure d'argent peut être produite en prenant une lame d'argent, la saupoudrant de fleur de soufre et chauffant doucement par-dessous à travers une lame de mica, puis faisant évaporer lentement le soufre en excès, ou bien par électrolyse.

On obtient la résistance convenable en faisant varier l'épaisseur de la couche du sulfure, la pression et l'intervalle entre les deux fils.

Les radiophones à iodure, bromure et chlorure d'argent fondu, peuvent être faits de la même manière. Il en est de même du sélénium qui peut être fondu et étalé sur une surface isolante et serré ensuite avec une double hélice de fils.

Il en est de même aussi avec du sulfure d'étain, et des corps durs en général parmi ceux qui sont indiqués ci-dessus, avec cette différence que ceux-ci peuvent être enchâssés dans de la cire à cacheter et limés à la surface.

4° *Manipulateur*. — Des manipulateurs en nombre égal à celui des séries d'ouvertures de la roue tournante. Les *fig.* 1 et 2 les représentent.

Une tige légère *t* en aluminium d'environ 10 centimètres de longueur porte un diaphragme *d* d'environ 1 centimètre de hauteur et de 1 centimètre de largeur; elle peut se mouvoir autour d'un axe A sous l'action d'un électro-aimant E sur une armature de 1 à 2 centimètres de longueur qui termine la tige, et susceptible d'une course de 2 à 3 millimètres entre le noyau de l'électro-aimant et un butoir B, porté par une pièce voisine de l'électro-aimant, ainsi qu'un ressort antagoniste *r*.

L'électro-aimant est animé à distance à l'aide d'une pile P et d'un manipulateur quelconque, M, Morse par exemple.

Sept électro-aimants et sept tiges semblables sont fixés sur la table qui supporte l'axe de la roue tournante, de façon qu'à l'état de repos les diaphragmes *d* arrêtent les rayons Ut_4, $Ré_4$, Mi_4,... Si_4... Pour que l'un d'eux, Sol_4, par exemple, traverse la roue et vienne tomber sur le radiophone, il faut manœuvrer celui des sept manipulateurs, tels que M, qui correspond à l'électro-aimant de la tige et du diaphragme relatifs à la série Sol_4.

Chaque manipulateur peut être désigné pour abréger comme les électro-aimants, les tiges, les diaphragmes, les séries d'ouvertures et les rayons lumi-

neux qui les traversent par les dénominations Ut_4, $Ré_4$,... Si_4.

Dans la position indiquée par les *fig.* 1 et 2, les diaphragmes obturent les ouvertures situées dans un plan passant par les extrémités d'un diamètre horizontal : cela constitue pour les électro-aimants et les tiges à diaphragme une disposition simple que la figure suffit à faire comprendre et à réaliser.

Cette disposition de manipulateur n'est pas indispensable, tout autre moyen de laisser passer les rayons lumineux suivant un rythme déterminé serait bon.

Le transmetteur étant ainsi constitué, supposons un circuit comprenant une pile quelconque, le radiophone et un téléphone ordinaire, la roue interruptrice tournant avec une vitesse d'environ onze tours par seconde, rendue constante à l'aide des moyens que j'indiquerai tout à l'heure.

Si on appuie la main sur le manipulateur Mi_4 par exemple, la série d'ouvertures Mi_4 sera débouchée, et l'on entendra dans le téléphone, d'après les lois de la radiophonie, un son continu Mi_4; si, avec le manipulateur, on produit des signaux Morse, par exemple, ces signaux seront perçus au téléphone par l'oreille de la même manière que les télégraphistes exercés perçoivent les signaux Morse en écoutant simplement le bruit rythmé que fait la palette de l'électro-aimant de l'appareil contre ses buttoirs d'arrêt, ou plutôt de la même manière que les mêmes télégraphistes perçoivent avec l'œil les signaux de la télégraphie optique, la manipulation étant la même dans les deux cas.

Si, au lieu d'un seul, les sept manipulateurs sont en mouvement, l'oreille perçoit dans le téléphone *simul-*

tanément les sept genres de signaux qui se *superposent* simplement, chacun d'eux conservant son individualité, et sans s'altérer mutuellement. Nous verrons tout à l'heure comment, à l'aide de récepteurs spéciaux, on pourra éviter cette superposition et isoler nettement l'une de l'autre chaque espèce de signaux.

Régulateur de vitesse. — Mais la mise en œuvre du transmetteur suppose, comme on l'a dit plus haut, que la vitesse de la roue interruptrice est constante. Voici comment on peut produire cette constance, la constater et la maintenir (*fig.* 2).

La roue R sur laquelle on n'a figuré qu'une partie de la série S d'ouvertures Si$_4$ est mise en mouvement à l'aide d'un cordon enroulé sur une poulie P et sur une autre poulie fixée à l'axe d'un petit moteur électrique N quelconque.

Ce moteur est animé par une pile aussi constante que possible K, par exemple une pile thermo-électrique Clamond chauffée à l'aide d'un courant constant de gaz ; un ampèremètre A′ et un rhéostat *h* sont intercalés dans le circuit de la pile et du fil du moteur. La vitesse voulue de la roue est ainsi *produite*.

On pourrait d'ailleurs employer tout autre moteur muni d'un système de réglage de vitesse assez précis.

Cette vitesse est *constatée* par un procédé acoustique. A cet effet, un tube de caoutchouc *t′* de longueur convenable pour renforcer le son Si$_4$ a l'un de ses bouts placé à quelques millimètres de la saillie formée par les ouvertures de la série Si$_4$; le choc de l'air entraîné par chaque ouverture sur les bords du tube produit le son Si$_4$, par un mécanisme analogue à celui de l'instrument d'acoustique connu sous le nom de *sirène*. Le

second bout du tube est placé à l'intérieur de la caisse renforçante G d'un *électro-diapason* Si$_4$ dont le mouvement est entretenu électriquement à l'aide d'un ou deux éléments Daniell *p* (*). Il en résulte que lorsque la vitesse de la roue augmente progressivement, le son produit par le tube *t'* s'élève; lorsqu'il approche du Si$_4$, on entend les battements produits par le son du tube avec celui de l'électro-diapason. Lorsque les battements cessent, les deux sons sont identiques et la vitesse de la roue est convenable : l'absence de battement le constate. On peut produire un son avec les saillies des ouvertures de la roue tout autrement qu'avec un tube : il suffirait, par exemple, de faire frotter un morceau de papier sur ces ouvertures. Il suffit, en un mot, de produire d'une manière quelconque un son caractéristique de la vitesse de la roue.

Pour *maintenir* cette vitesse, il suffit de maintenir cette absence de battement, ou plutôt il suffit de maintenir constamment un ou deux battements par seconde. Ce but est atteint à l'aide du rhéostat *h*, qui permet de faire varier le courant de la pile, et par suite la vitesse du moteur et celle de la roue. L'expérience prouve la facilité de ce réglage.

On voit d'ailleurs quelle est sa sensibilité. Le nombre des battements par seconde étant égal à la différence entre les nombres des vibrations des sons du tube et de l'électro-diapason, et ce dernier effectuant environ 974 vibrations complètes par seconde, en maintenant cette différence à un battement près par seconde, ce qui peut être apprécié par tout le monde,

(*) L'électrodiapason que j'ai imaginé en 1873, a été décrit dans les *Annales télégraphiques*, t. I, p. 51, et t. III, page 105.



on est certain de maintenir la vitesse de la roue constante à 1/974 près.

J'appellerai *tachymètre acoustique* pour abréger, cet ensemble du tube t' ou de tout autre engin permettant de produire un son caractéristique de la vitesse d'une roue, et de l'électro-diapason muni de sa caisse renforçante, le tout destiné à constater et à apprécier à 1/1000 près environ les variations de vitesse d'une roue tournante au-dessus et au-dessous d'une vitesse déterminée, et cela sans altérer sensiblement cette vitesse elle-même.

[B] *Transmetteur téléradiophonique thermique, ou « téléthermomicrophone. »*

Le transmetteur précédent comprend un radiaphone particulièrement sensible aux radiations *lumineuses;* c'est un radiophone *photique* ou *photophone.*

On peut se servir d'un radiophone principalement sensible aux radiations thermiques, c'est-à-dire un radiophone *thermique* ou *thermophone;* mais il faut qu'il puisse produire dans le circuit qu'il doit actionner des ondulations électriques.

A cet effet, l'appareil, que j'ai imaginé il y a quelques années, se compose (*fig.* 5) d'un microphone ordinaire de 8 à 16 centimètres de diamètre, dont le diaphragme en bois ou en métal D supporte des charbons C assez légers de 3 millimètres de diamètre environ et de 5 à 8 centimètres de longueur : leurs extrémités sont reliées comme d'ordinaire aux pôles d'une pile de microphone p par l'intermédiaire du fil primaire f d'une bobine d'induction B dont la résistance n'est que de quelques ohms; le fil secondaire F

est très fin, il est composé d'un très grand nombre de tours et présente par suite une grande résistance, il est relié d'une part à une pile de ligne P dont l'autre extrémité est à la terre et d'autre part à la ligne télégraphique L.

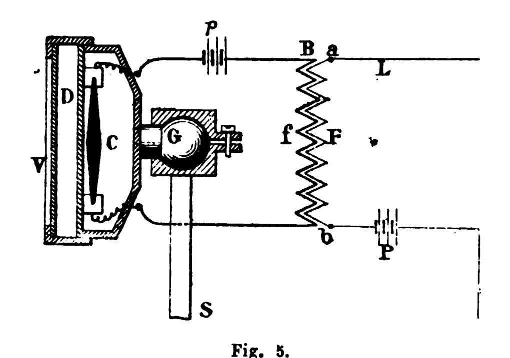


Fig. 5.

La surface du diaphragme est enduite de noir de fumée et recouverte d'une lame de verre mince V formant avec elle une chambre à air close de 5 à 6 millimètres de hauteur seulement. La lame est exposée aux radiations intermittentes qui la traversent, et produisent des variations de température dans la couche d'air en contact avec le noir de fumée : il en résulte dans la masse d'air de la chambre un mouvement vibratoire qui se transmet au diaphragme D du microphone; celui-ci fonctionne alors comme d'ordinaire, et produit dans le courant qui parcourt le fil F et la ligne L des ondulations électriques de même rythme que celui de la chambre à air.

L'appareil est fixé à un support quelconque S par l'intermédiaire d'une articulation à genou G qui permet de donner au système microphonique son maxi-

mum de sensibilité : j'appellerai cet appareil pour abréger *thermo-microphone*.

Si la ligne télégraphique n'a pas une grande résistance, une bobine d'induction B suffit, et même on peut la supprimer et relier le microphone à la ligne et à la pile P. Si cette ligne et les appareils interposés offrent une grande résistance, on relie le microphone à une *batterie* de bobines dont les fils primaires et les fils secondaires peuvent être réunis en *série* ou en *quantité*, suivant les cas, comme on fait ordinairement des éléments d'une pile.

On peut, dans l'appareil précédent, prendre pour diaphragme D une lame de verre mince, former la chambre à air de parois en verre et y remplacer l'air par des gaz ou vapeurs absorbant énergiquement les radiations *lumineuses*, tels que les vapeurs d'iode, d'acide hypoazotique..., etc., et dont l'effet s'ajouterait à l'effet thermique du noir de fumée.

On peut enfin construire, comme on l'a indiqué pour le photophone, des thermophones à noir de fumée, à iodure d'argent ou autres substances particulièrement sensibles aux radiations thermiques.

Dans le cas d'un transmetteur à radiophone thermo-microphonique, les pôles des radiophones F sont remplacés par ceux *a*, *b*, de la bobine ou de la batterie de bobines d'induction.

RÉCEPTEUR.

Monotéléphone à effets multiples. — Le récepteur est un *Monotéléphone*, ou *résonateur électro-magnétique*. C'est un téléphone dont le diaphragme, circulaire ou rectangulaire, n'est pas encastré : s'il est

circulaire, il est posé sur trois points formant les sommets d'un triangle équilatéral inscrit dans la circonférence constituant la ligne nodale du premier harmonique; s'il est rectangulaire, il est posé sur les deux lignes nodales du son fondamental.

Si l'on fait passer dans la bobine de l'appareil qui a 3 ou 400 ohms de résistance une série de courants ondulatoires de rythmes différents, le diaphragme ne vibre d'une manière intense que sous l'action des courants dont la période vibratoire est égale à celle du premier harmonique du diaphragme s'il est circulaire, et à celle du son fondamental s'il est rectangulaire.

C'est la propriété caractéristique de l'appareil. Elle est analogue à celle que possède l'appareil d'acoustique nommé *résonateur*, de choisir en quelque sorte, parmi une série des sons qui lui arrivent simultanément, l'un d'entre eux pour le renforcer vivement, tandis qu'il permet à peine d'entendre les autres.

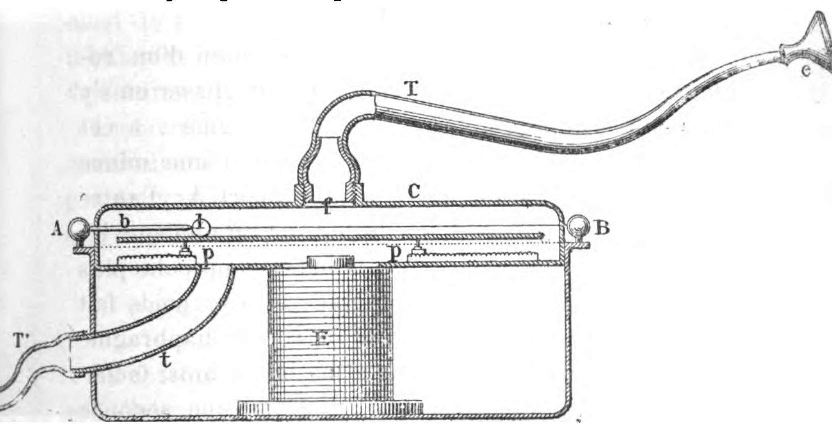


Fig. 6.

La *fig.* 6 représente la coupe d'un monotéléphone circulaire.

Le diaphragme D est posé sur trois pointes *p* mobiles le long de glissières graduées fixées sur une plate-forme P. Un couvercle C est muni d'un ajutage central auquel est adapté un tube de caoutchouc T muni d'une embouchure *e* permettant de recueillir les sons de la lame d'air au-dessus du diaphragme. Un second tuyau semblable T′ ajusté sur un tube métallique *t* qui vient déboucher au-dessous de la plate-forme, aussi près que possible du pôle de l'électro-aimant E, permet de recueillir les vibrations de l'air au-dessous du diaphragme. Il en résulte qu'en appliquant aux deux oreilles les embouchures des tuyaux T et T′, qu'on peut y maintenir d'ailleurs de diverses manières, la personne qui écoute entend deux sons identiques quand le diaphragme vibre, par suite de ce dispositif à double effet, et se trouve en même temps à l'abri des bruits extérieurs, en conservant ses deux mains libres. Le tube *t* peut d'ailleurs être pratiqué à l'intérieur du noyau aimanté de l'électro-aimant E.

Réglage. — De plus, l'appareil est muni d'un réglage. Un petit cylindre en laiton *l* peut glisser en s'y appuyant le long d'un rayon du diaphragme : à cet effet, il est tendu, d'une part, à l'aide d'une mince lame de caoutchouc *b* fixée à un support A, d'autre part, il est tiré par un fil *f* enroulé sur un tambour B ; en faisant tourner celui-ci, le cylindre s'approche plus ou moins du centre du diaphragme, et son poids fait varier plus ou moins la hauteur du son du diaphragme sans empêcher ses vibrations. On obtient ainsi facilement une variation continue d'au moins une seconde majeure.

A l'aide des lois des vibrations des plaques circulaires, on construit des diaphragmes de même épais-

seur (1 millimètre par exemple) et de diamètre calculés pour que leurs premiers harmoniques reproduisent tous les sons de la gamme diatonique Ut_4, $Ré_4$...

Les monotéléphones munis de ces diaphragmes constituent les récepteurs correspondant aux transmetteurs du même nom.

On les embroche dans le circuit comprenant le radiophone du poste télégraphique de départ et la ligne télégraphique, les deux extrémités de ce circuit étant à la terre, ou réunis par un fil de retour, comme dans un circuit téléphonique.

On voit alors que si au départ on manipule d'une manière quelconque sur les sept manipulateurs à la fois, toutes les ondulations électriques qui en résulteront traverseront à l'arrivée tous les récepteurs; mais on n'entendra nettement dans le récepteur Ut_4, que les signaux produits par le manipulateur Ut_4; dans le récepteur $Ré_4$, que les signaux du manipulateur $Ré_4$, et ainsi de suite. Les réceptions pourront donc être simultanées et rester néanmoins indépendantes les unes des autres.

Un courant d'une intensité de 0,00002 d'ampère au maximum suffit dans ces instruments pour produire, par ses variations radiophoniques, des sons assez intenses pour une bonne réception.

DISPOSITION DE LA LIGNE ET DES POSTES.

Le système télégraphique, pour être complet, exige que chaque poste puisse transmettre ou recevoir à volonté, et que chaque télégraphiste puisse parler à chaque instant à son correspondant pour des rectifications ou des collationnements.

Il faut donc, ainsi que l'indique la figure schématique (7) :

[*a*] Au poste de départ : une pile P communiquant d'une part avec la terre, d'autre part avec l'un des pôles du radiophone F_1 ; en face de celui-ci la roue interruptrice munie de son système optique, de son moteur, de son tachymètre et de ses sept manipulateurs : sept monotéléphones m_1 accordés sur les sons de la gamme diatonique de l'Ut_4 et embrochés dans le circuit à la suite du radiophone. Sept télégraphistes sont placés dans une salle autre que celle qui contient le radiophone, la roue et ses accessoires ; chacun d'eux est muni du système qui maintient à ses oreilles les embouchures des tuyaux d'un monotéléphone, et il a sous sa main le manipulateur correspondant, c'est-à-dire celui qui produit le son pour lequel le monotéléphone est accordé ; il entend donc sa propre transmission et est toujours prêt à recevoir celle de son correspondant qui manipulera sur le même son.

La ligne télégraphique L est reliée au dernier monotéléphone.

[*b*] Au poste d'arrivée : un système absolument *identique*, comprenant sept monotéléphones m_2 et un radiophone F_2 embrochés, avec communication finale à la terre : une roue interruptrice animée de la même vitesse avec son système optique, son moteur, son tachymètre et ses manipulateurs.

L'identité des monotéléphones des deux postes est assurée par construction, mais le réglage décrit ci-dessus permet de remédier à un défaut de construction ou aux effets d'une variation notable de température, et d'assurer le maximum d'intensité aux signaux sonores reçus.

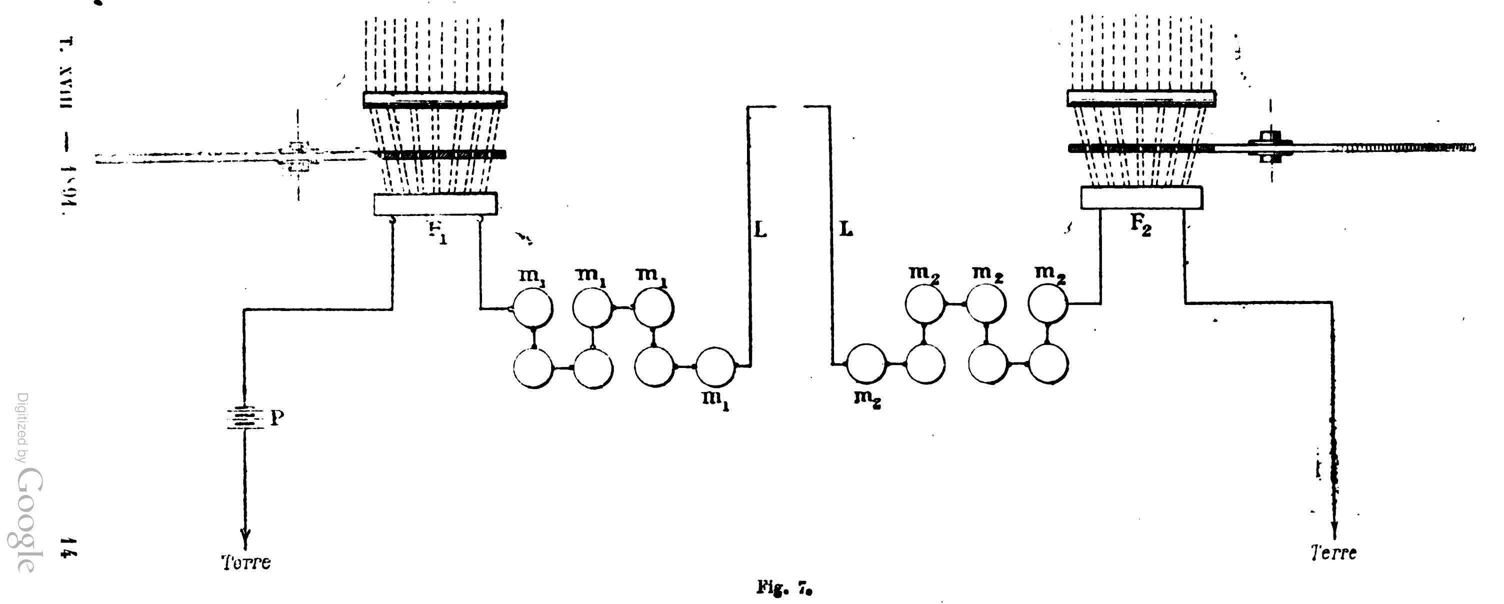


Fig. 7.

L'identité de vitesse des deux roues est assurée par celle des électro-diapasons des tachymètres; mais la différence extrêmement petite qui pourrait provenir de la température serait aussi facilement corrigée à l'aide du réglage des monotéléphones. Cependant, pour avoir plus de sécurité dans le synchronisme des roues, il suffit de munir les électro-diapasons d'un curseur très léger en aluminium. Au début d'une séance, un opérateur au départ règle le mouvement de sa roue de façon qu'il n'y ait pas de battements entre les deux sons Si_4 du tachymètre ; un opérateur au poste d'arrivée écoute le son reçu dans le monotéléphone Si_4 ; s'il bat avec le son de l'électro-diapason, il fera mouvoir le curseur de celui-ci jusqu'à ce que le battement disparaisse : le synchronisme des roues des deux postes sera alors assuré.

La ligne L est aérienne, souterraine ou sous-marine. Les effets de sa résistance et de l'induction ne sont pas à craindre.

Pour la résistance, prenons le cas le plus défavorable d'une ligne aérienne en fil de fer de 4 millimètres de diamètre et d'une très grande longueur, 1.000 kilomètres si l'on veut. La résistance sera d'environ 10.000 unités ; mais en donnant à chacun des radiophones une résistance de 300.000 ohms, soit 600.000 en tout, on voit que la résistance de la ligne ne sera que le 160me de celle des radiophones. La résistance des quatorze monotéléphones à 300 ohms chacun est aussi d'ailleurs négligeable.

En ce qui concerne l'induction des lignes voisines, si on transmet des signaux télégraphiques ordinaires, le crépitement qui en résulte dans les monotéléphones ne trouble guère une transmission faite par des sons

musicaux clairs, sans harmoniques, et toujours de même hauteur.

Restent les effets de la condensation sur les câbles, et de l'auto-induction. L'expérience seule pourra montrer jusqu'à quel point elles pourront nuire à des ondulations simples, pendulaires et régulières produites sur un courant continu qui maintient la charge constante, sauf les variations extrêmement petites qu'y produisent précisément les ondulations. J'ajoute que la transmission peut s'opérer dans n'importe quel sens, à n'importe quel moment; il n'y a véritablement ni poste de départ, ni poste d'arrivée : les communications s'échangent dans le sens et à l'instant qu'on veut. Le système est donc à volonté simplement *multiple* ou bien *multiplex*.

Les descriptions et dessins ci-dessus indiquent que les récepteurs sont embrochés sur la ligne. Il va sans dire qu'ils pourraient être mis en dérivation sur la ligne unique ou entre les fils d'aller et de retour, en combinant convenablement leur résistance et leur auto-induction avec celles de la ligne et des transmetteurs.

Rendement du système.

Pour simplifier les explications et les figures, j'ai supposé seulement sept séries d'ouvertures aux roues interruptrices et sept manipulations différentes produisant dans les récepteurs les sons de la gamme diatonique d'Ut_4. Mais l'expérience démontrant que les monotéléphones séparent très nettement des sons qui diffèrent entre eux d'une seconde mineure tels que Mi_4 et Fa_4, on voit immédiatement qu'on peut intercaler entre les autres sons de la gamme d'Ut_4 les sons

diézés, et porter le nombre des séries d'ouvertures des roues, des manipulateurs et des transmissions, à douze correspondant aux sons de la gamme chromatique :

Ut$_4$ Ut$\sharp_4$ Ré$_4$ Ré$\sharp_4$ Mi$_4$ Fa$_4$ Fa$\sharp_4$ Sol$_4$ Sol$\sharp_4$ La$_4$ La$\sharp_4$ Si$_4$, ou à des sons très voisins de ceux-là.

Il suffira, sur les roues de 55 centimètres de diamètre, de percer douze séries d'ouvertures au nombre de 50, 53, 56, 59, 63, 67, 71, 75, 80, 84, 90, 95.

Chaque ouverture ayant 10 millimètres de diamètre et un intervalle de 3 millimètres entre deux séries étant suffisant, les douze séries occuperont sur la roue une bande de 15 à 16 centimètres de largeur. Comme il serait difficile d'obtenir une bande lumineuse de 15 centimètres de hauteur sans système optique de grandeur exagérée, il vaut mieux, en ce cas, avoir deux sources lumineuses, deux systèmes de lentilles et deux radiophones pour chaque roue avec six séries d'ouvertures éclairées de chaque côté d'un diamètre horizontal, et six manipulateurs également de chaque côté.

Les deux radiophones de chaque poste à 400.000 ohms de résistance sont établis en quantité dans le circuit, de façon que la résistance totale de ces quatre instruments ne soit que de 400.000 ohms.

Le nombre des monotéléphones est ainsi porté de sept à douze dans chaque poste, ce qui change d'une manière insignifiante les conditions électriques du système.

II.

TRANSMISSION TÉLÉMICROPHONIQUE.

Le mode de transmission décrit ci-dessus peut être remplacé par le suivant qui est plus simple, car on y supprime toute action radiophonique, ainsi que la roue interruptrice.

Transmetteur. — On prend des électro-diapasons exactement accordés sur les sons de la gamme chromatique, et munis d'une caisse renforçante, tels que D (*fig.* 2).

Sur chacune de ces caisses G, on fixe un microphone ordinaire M (*fig.* 8), ou plus simplement encôre, on fixe les charbons d'un microphone ordinaire à la face supérieure de la caisse renforçante qui sert ainsi de diaphragme directement animé par les vibrations du diapason.

Les fils primaires 1,1 des bobines d'induction des douze microphones, au lieu de former chacun un circuit spécial renfermant sa pile, peuvent être reliés entre eux soit en série, soit en quantité dans le circuit d'une pile quelconque convenable.

Les fils secondaires 2,2 peuvent être reliés entre eux d'une manière analogue à la façon des éléments d'une pile, et aboutissent à la ligne télégraphique d'un côté, à la terre de l'autre, au poste de départ.

On peut se servir de bobines de 20 centimètres de longueur et de 3 centimètres de diamètre, au fil secondaire desquelles on peut aisément donner de 5 à 6.000 ohms de résistance, et, au besoin, d'une *batterie* de bobines de ce genre suivant les conditions spéciales de la ligne qu'il s'agit de desservir.

Quant à la manipulation, elle s'effectue à l'aide d'un manipulateur Morse N, par exemple, intercalé dans le fil primaire de chaque microphone.

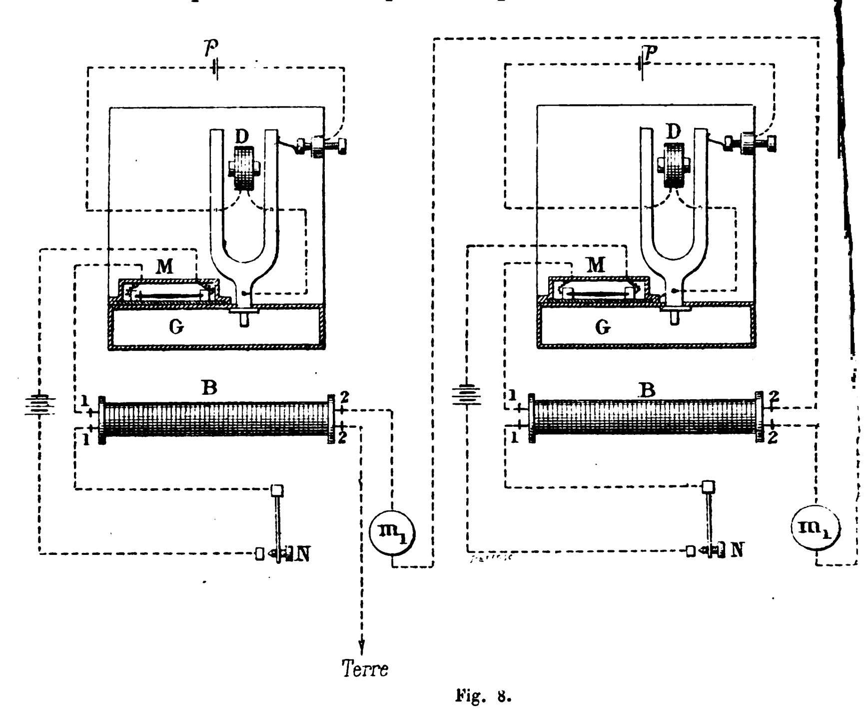
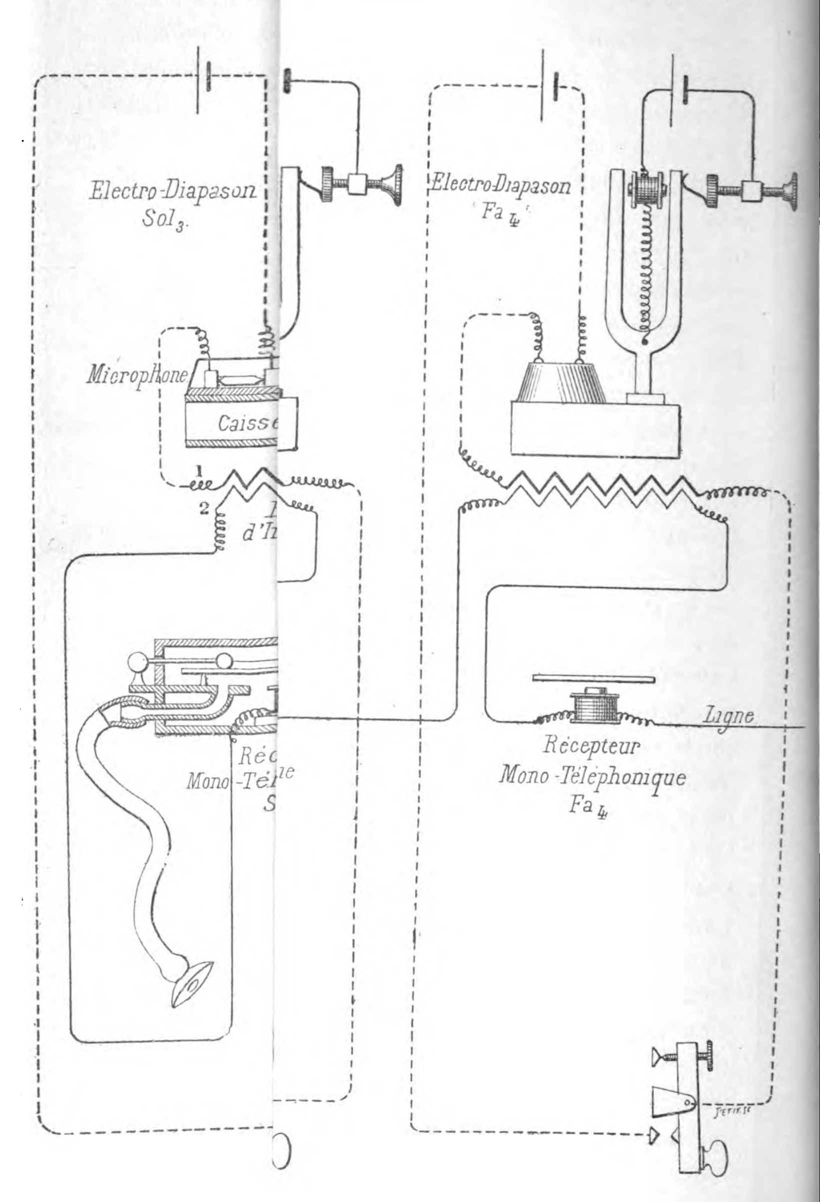


Fig. 8.

L'élément du transmetteur ainsi constitué peut être désigné par le nom d'Électro-diapason microphonique. Mais il est clair qu'on pourrait employer pour faire vibrer les microphones tout autre corps vibrant d'une manière permanente et régulière, comme un tuyau ou une anche sonore par exemple.

Récepteur. — Les récepteurs sont les monotéléphones déjà décrits; il n'y a rien à changer au mode de réception.


Electro-Diapason
Sol 3.
Microphone
Caiss
1
2
d'I
Réc
Mono -Tél
S
Electro-Diapason
Fa 4
Ligne
Récepteur
Mono-Téléphonique
Fa 4

Disposition des postes. — L'une des extrémités du fil secondaire de la bobine ou de la batterie de bobines d'induction est mise à la terre au poste de départ : l'autre extrémité est reliée à la ligne après avoir traversé les monotéléphones m_1 (*fig.* 8). Au poste d'arrivée, la disposition est la même. Tous ces organes, fils secondaires des bobines et monotéléphones, sont embrochés dans le circuit dont les deux extrémités sont à la terre. La figure 9 représente une disposition d'un poste de départ à quatre transmissions; elle est la même, quel que soit ce nombre des transmetteurs.

Ajoutons qu'on peut intercaler dans le circuit général une pile telle que P dans la *fig.* 7.

Le mode de transmission ainsi constitué avec des bobines d'induction à long fil secondaire très résistant, munies de leurs faisceaux de fil de fer intérieurs, jouit de la propriété remarquable de pouvoir fonctionner lors même que le circuit général est ouvert en un point quelconque. L'intensité des transmissions est naturellement très affaiblie, mais on peut toujours la rendre suffisante pour l'échange des communications, en faisant produire au corps vibrant transmetteur son maximum d'effet sur les microphones.

Appel microphonique. — Ce maximum d'effet s'obtient tout simplement en posant le microphone sans intermédiaire sur la caisse renforçante de l'électro-diapason. Pour les transmissions ordinaires à circuit fermé, cet effet est trop intense pour que les monotéléphones séparent suffisamment les transmissions multiples simultanées ; on est forcé de réduire l'intensité, par exemple, en séparant la caisse renforçante du microphone par des lames de caoutchouc.

Mais on peut alors se servir utilement de l'effet

maximum comme *appel* précédant une série de transmissions, car, dans le monotéléphone récepteur qui est à l'unisson de celui qui appelle, on entend cet appel à environ 10 mètres du récepteur en prêtant l'oreille, et à 1 ou 2 mètres sans y prêter son attention, tandis que dans les autres monotéléphones on ne l'entend qu'en portant à l'oreille les tuyaux acoustiques.

On peut rendre l'appel caractéristique en produisant un signal convenu différent pour chaque transmetteur, et on pourra probablement encore en augmenter l'effet en profitant de l'amplitude des mouvements produits pour faire marcher une sonnerie par l'un des moyens délicats actuellement connus.

Il n'est d'ailleurs pas nécessaire, pour produire cet appel, de se servir du corps vibrant transmetteur qui peut être éloigné de l'opérateur voulant faire l'appel.

Il suffit de placer à côté de chaque manipulateur un microphone auxiliaire d'appel pouvant être substitué momentanément au transmetteur à l'aide d'un commutateur et de le faire vibrer en appuyant sur le diaphragme un corps vibrant de petites dimensions, comme un cornet à anche ou tout autre, mais *accordé exactement à l'unisson* du transmetteur correspondant.

On peut encore, dans le cas où chaque transmetteur aurait sa bobine d'induction placée à côté de chaque manipulateur, réduire l'intensité maxima des microphones fixés sans intermédiaire à la caisse renforçante, en retirant le faisceau de fils de fer toujours placé à l'intérieur des bobines, et enfoncer ensuite le faisceau dans la bobine pour produire, en manipulant, l'effet maximum et l'appel. Le microphone auxiliaire d'appel serait alors inutile.

Cette sorte d'appel musical microphonique est appli-

cable à tous les modes de transmission précédents. Il suffit d'embrocher dans le circuit le fil secondaire de la bobine du microphone d'appel.

Application à divers systèmes de communications télégraphiques.

Le système qui vient d'être décrit suppose un échange de communications télégraphiques entre deux postes.

Mais on voit, sans qu'il soit nécessaire d'insister sur ce point, qu'il peut servir à la correspondance télégraphique entre un poste central et douze autres postes disposés soit en embrochage, soit en dérivation sur un même fil. Il suffirait de mettre dans chaque poste un des douze récepteurs monotéléphoniques indiqués ci-dessus avec le transmetteur correspondant.

Et il est à remarquer que les douze postes en question pourraient communiquer non seulement avec le poste central, mais encore entre eux sans que le poste central eût besoin de leur donner communication à l'aide de commutateurs ou d'appareils de cette nature. Il suffirait pour cela : 1° que chaque poste possédât les douze transmetteurs et récepteurs; 2° qu'un avis put indiquer quel est le poste qui appelle. Cet avis serait donné par le moyen de l'appel indiqué ci-dessus caractérisé par la lettre indicatrice de chaque poste.

Application à la télégraphie optique multiple.

Les modes de transmission téléradiophonique (photique et thermomicrophonique) décrits précédemment sont applicables à la télégraphie optique (*fig.* 10).



A cet effet, il suffit au départ de recueillir les radiations qui, provenant de la source S, ont traversé les ouvertures de la roue R, au foyer d'une lentille ou d'un miroir, comme on le fait ordinairement en télégraphie optique. On renvoie ainsi vers le poste éloigné avec lequel on veut communiquer le faisceau de radiations rendu cylindrique, et qui se compose en réalité de la superposition, sans confusion, d'autant de faisceaux individuels qu'il y a de séries d'ouvertures à la roue R, chacun de ces faisceaux vibrant suivant le mode spécial relatif aux sons de la gamme.

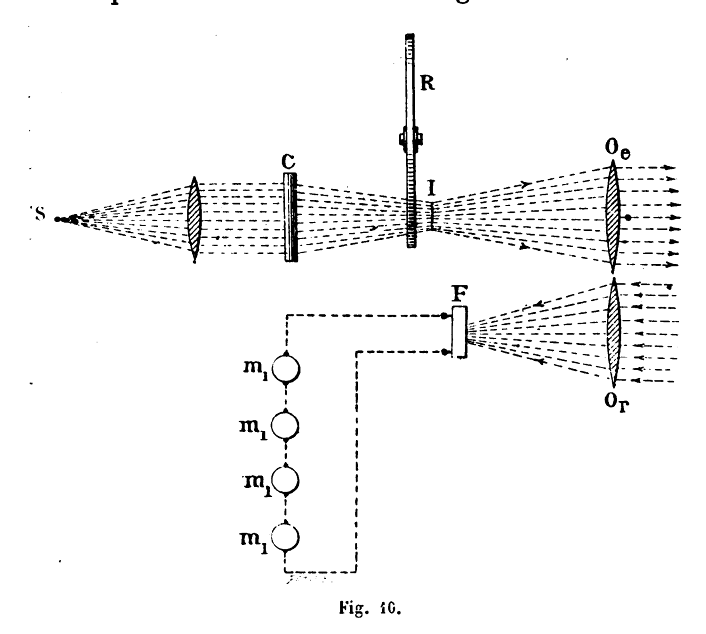


Fig. 16.

La direction du faisceau est déterminée à l'avance, comme d'habitude, et une lunette ou un téléscope dont l'axe optique est parallèle à cette direction, permet de voir les rayons émis par le poste correspondant.

A la station d'arrivée, le faisceau de radiations vibrantes est reçu et concentré au foyer d'un miroir ou d'une lunette sur l'un des photophones ou sur le thermomicrophone décrits plus haut (*fig.* 3, 4, 5), reliés aux récepteurs monotéléphoniques également décrits (*fig.* 6) et formant avec eux un circuit fermé.

La *fig.* 10 montre un dispositif de transmission et de réception dans lequel les lettres S. C. R. indiquent les mêmes organes que dans la *fig.* 1 et représentent la source, le système optique et la roue interruptrice; I est l'image rectangulaire de la source S formée par les radiations qui ont traversé la roue; O_e est un objectif d'*émission* dont le plan focal est en I. D'autre part, F et m_1 représentent, comme dans les *fig.* 1, 5 et 7, un radiophone ou un thermomicrophone et des monotéléphones, formant circuit fermé; O_r est une lentille de *réception* concentrant les radiations reçues dans son plan focal en F.

Un dispositif identique est placé au poste correspondant.

Il va sans dire qu'on peut remplacer les lentilles par des miroirs ou des télescopes, s'arranger à l'aide de prismes à réflexion totale ou d'autres systèmes optiques produisant le même effet, de façon que l'appareil optique d'émission serve aussi pour la réception.

Tout ce qui est relatif à la manipulation, au synchronisme des roues, à la réception, est identique à ce qui a été indiqué précédemment.

Le système de transmission télémicrophonique a été exposé en 1889; mais depuis ce temps transmission et réception ont été modifiées et simplifiées. Ces modifications feront l'objet d'un second article.

(*A suivre*). E. MERCADIER.

COMMUTATEUR TÉLÉPHONIQUE CENTRAL SECTIONNÉ

1° CONSIDÉRATIONS PRÉLIMINAIRES

Au cours des conférences techniques qui eurent lieu à Paris, du 15 au 31 juillet 1889, dans lesquelles furent traitées toutes les questions relatives au service téléphonique, M. Raymond, Directeur de l'École professionnelle supérieure, voulut bien m'engager à étudier la construction d'un système de commutateur pour bureau central téléphonique.

Au mois de novembre de cette même année, je présentai, à l'Administration, un projet complet d'établissement d'un bureau central de 20.000 abonnés, desservis par des lignes à double fil.

Les seuls commutateurs téléphoniques centraux connus, précédemment, étaient les commutateurs multiples américains dont la description sommaire avait été donnée, notamment dans le journal de Berne, et dont un spécimen, disposé pour 3.000 abonnés, figurait à l'Exposition universelle de 1889, où il était exposé par la Société générale des Téléphones.

Ce commutateur, très bien étudié d'ailleurs, et construit avec beaucoup de soin et de précision, présentait déjà, à côté d'avantages sérieux et indiscutables, des inconvénients sensibles dans le service et pour les praticiens ; de l'avis de ceux-ci, il était à prévoir que ces inconvénients, inhérents au système multiple, s'accentueraient au fur et à mesure de l'aug-

mentation de la capacité des appareils et de leurs dimensions.

L'expérience a d'ailleurs confirmé ces prévisions, puisque les grands commutateurs centraux établis à New-York n'ont pas donné satisfaction.

En général, les observations que j'ai recueillies, relativement au fonctionnement éventuel du commutateur multiple, portaient sur les points suivants :

1° Fatigue excessive de la vue chez les téléphonistes, fatigue causée surtout par la petitesse des numéros gravés sur les panneaux supérieurs ;

2° Incertitude dans les opérations d'épreuve des circuits ;

2° Difficulté d'établir nettement les responsabilités. (Cette dernière observation était déduite de la précédente.)

En cherchant à remédier à ces difficultés, je fus conduit à imaginer un système de commutateur sectionné, dans lequel les opérations à effectuer sont réparties entre les téléphonistes, de façon que chacune d'elles accomplisse une partie du travail et qu'elle en ait la responsabilité, en ayant soin, d'ailleurs, de lui donner, à elle-même, toutes les facilités et garanties nécessaires pour son service.

Dans le courant d'avril 1890, en vue d'expériences préliminaires, je fis exécuter une installation d'essai comprenant 50 postes téléphoniques d'abonnés reliés à un bureau central dans lequel étaient disposés les appareils de mise en communication de ces postes.

En même temps, des dames téléphonistes détachées des divers bureaux de Paris, furent désignées pour s'exercer à la manœuvre des appareils d'essai (*).

(*) Je saisis, avec empressement, l'occasion qui m'est offerte pour re-

Les expériences qui furent faites à la date du 4 mai 1890, permirent de se rendre compte du fonctionnement du système ; dans la séance de deux heures, il a été établi environ 400 communications dont plus de 100 furent données en moins de 15 secondes chaque et les 300 autres en un temps moyen de 20 secondes pour chacune d'elles.

Depuis cette époque, je me suis efforcé d'améliorer le fonctionnement du commutateur central, en suivant les avis qui m'ont été donnés par les fonctionnaires et agents qui ont bien voulu venir se rendre compte de la marche des appareils, et j'ai été amené à étudier diverses combinaisons se rapportant à des réseaux d'importances variées.

Ces installations sont d'ailleurs analogues, quant au principe, à celles du grand bureau central et ne varient guère que dans l'agencement des organes secondaires, qui sont disposés suivant le nombre des tables entrant dans la composition du bureau.

La présente étude se rapporte à l'installation d'un bureau central de réseau à double fil, le montage pouvant d'ailleurs être facilement adapté aux réseaux à simple fil.

2° DISPOSITION GÉNÉRALE DES APPAREILS

La Pl. 1 donne le plan théorique de l'ensemble du système. Les figures 1 et 2 se rapportent aux organes détachés, dont la description détaillée est donnée au paragraphe 6.

mercier les dames téléphonistes détachées au dépôt central, non-seulement du concours actif et intelligent qu'elles m'ont prêté, mais aussi des observations qu'elles m'ont adressées et dont je me suis efforcé de tenir compte autant qu'il m'a été possible.

Le bureau est divisé en sections identiques de 1.000 abonnés comprenant chacune :

1° Deux tableaux d'entrée, dont un est représenté en E.

2° Douze tables de sections dont deux sont représentées en S^1 et S^2. (Les douze tables sont divisées en deux groupes.)

3° Deux tables centrales dont une est représentée en C.

Chaque fil d'abonné traverse successivement :

1° Les conjoncteurs de ligne (C. L.) répartis sur les tables de section d'un groupe à raison de un par table.

2° Le conjoncteur de la table centrale (C. C.)

3° L'électro-annonciateur du tableau d'entrée (E. A.) Le circuit est complété par le fil de retour qui est branché sur les blocs postérieurs des conjoncteurs et sur le fil de sortie de l'électro-annonciateur (*fig.* 1).

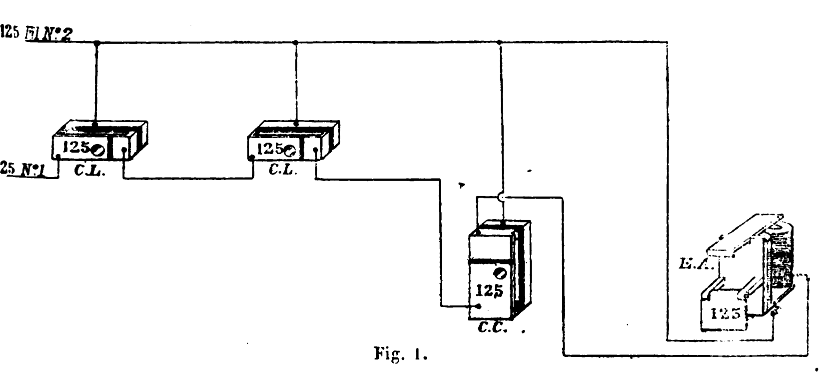


Fig. 1.

Tableau d'entrée. — Sur ce tableau sont montés :

1° 500 annonciateurs de ligne (E. A.) destinés à recevoir les appels des abonnés du groupe.

2° 500 boutons poussoirs (B. P.) placés sur les

annonciateurs et disposés de telle sorte que les boutons sont cachés lorsque les annonciateurs sont au repos.

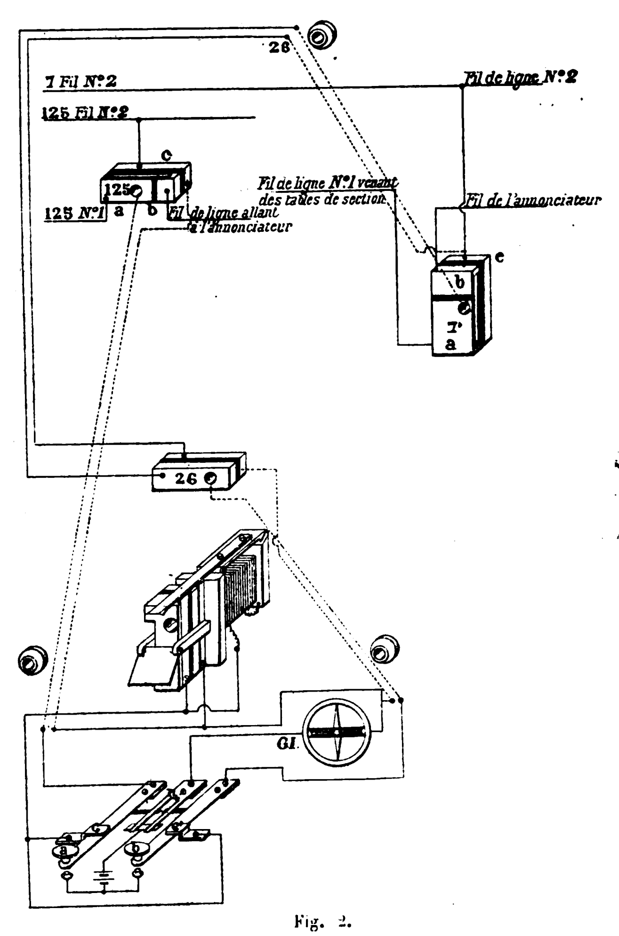


Fig. 2.

3° 6 dispositifs d'appel (D. A.), composés chacun d'un électro-indicateur et d'une clef, reliés respectivement à des dispositifs analogues fixés sur les tables de section.

Table de section. — Chaque table de section se compose de :

1° 500 conjoncteurs de ligne (C. L.)

2° 500 électros locaux (E. L.) mettant en jeu des languettes masquant, au repos, les trous des conjoncteurs de ligne. Ces électros sont reliés, d'une part, aux clefs des dispositifs d'appel du tableau d'entrée, et, d'autre part, aux boutons poussoirs de ce même tableau.

3° 12 plots de renvoi (P. R.) reliés, d'une part, aux postes de fin de conversation, et, d'autre part, à des chevilles réparties entre les tables centrales du bureau.

4° 12 boutons poussoirs (B. P.) portant les numéros des plots de renvoi et reliés à des électros locaux répartis entre les deux tables centrales.

5° 12 postes de fin de conversation (F. C.) composés chacun d'un électro-aimant, d'un galvanomètre indicateur, de deux chevilles avec cordon souple et d'un manipulateur à deux clefs.

6° 1 annonciateur (A. A.) d'avertissement et sa clef reliés au tableau d'entrée.

7° 1 appareil portatif avec clef d'appel, cheville et cordon souple.

Table centrale. — Cette table porte :

1° 500 conjoncteurs de ligne (C. L.)

2° Des chevilles et cordons souples (C. S. *s*) en nombre variable, suivant le nombre des sections, ces chevilles sont reliées aux plots de renvoi des tables de section.

3° des électros locaux (E. L.) en nombre égal à celui des chevilles ; ces électros sont reliés à des bou-

tons poussoirs montés sur les tables de section, en regard des plots de renvoi.

4° 2 appareils portatifs reliés à des plots d'attente fixés sur la table.

3° FONCTIONNEMENT.

Tableau d'entrée. — Dès la chute du volet de l'un des annonciateurs, la téléphoniste du tableau d'entrée donne le signal d'avertissement à la première table de section libre, elle lui indique, par la pression du bouton poussoir monté sur l'annonciateur, le numéro de l'abonné appelant.

L'aiguille indicatrice du dispositif d'appel rend visible le mot *occupé* et reste dans cette position jusqu'à ce que la téléphoniste de la table de section la fasse passer à l'indication *libre*.

Ainsi la téléphoniste du tableau d'entrée n'est pas en relation avec les abonnés ; elle a uniquement pour fonction d'avertir localement une des téléphonistes de section et d'assurer dans les meilleures conditions la répartition du travail entre les téléphonistes de la dite section.

Table de section. — 1° La téléphoniste de section a toujours soin de placer, au repos, la cheville reliée à son appareil dans le conjoncteur d'un poste de fin de conversation, qu'elle amorce ainsi en attendant le signal d'appel.

Dès qu'elle est appelée, elle porte la cheville de gauche de l'électro de fin de conversation dans le conjoncteur de ligne qui vient d'être dégagé et *parle* de suite à l'abonné *appelant*.

2° Pour avoir l'abonné *appelé*, elle se met en rap-

port avec la table centrale où il se trouve et demande son envoi en indiquant verbalement par téléphone le numéro d'ordre de cet abonné, elle n'a donc qu'un seul numéro à indiquer téléphoniquement.

En même temps, elle place la cheville de gauche du poste de fin de conversation précité dans le plot de renvoi qu'elle a indiqué à la table centrale, laquelle est ainsi reliée directement avec l'abonné appelant.

Table centrale. — La téléphoniste de la table centrale établit les communications entre abonnés en reliant le conjoncteur de ligne de l'appelé avec la cheville terminale d'un cordon souple dont l'autre extrémité est déjà en liaison avec la ligne de l'abonné appelant.

Les indications lui sont données, d'un côté par la chute du volet de l'électro local qui porte le même numéro que le plot par lequel a été fait le renvoi à la table de section et, d'un autre côté, par le numéro de l'appelé, lequel lui est donné téléphoniquement par la table de section.

Pour cela, dès la chute du volet d'un électro local, elle prend la cheville portant le même numéro, la place dans le plot relié à son appareil, *parle* à la téléphoniste de section et, d'après l'énoncé du numéro, relie la cheville par l'intermédiaire de laquelle elle parle à la table de section avec le conjoncteur de ligne demandé, si, toutefois, il est libre.

Appel des abonnés. — La communication étant établie à la table centrale, la téléphoniste de section s'assure de la continuité du circuit en pressant sur la touche de droite de la clef du poste de fin de conversation.

Si le fil est libre du côté de l'abonné appelé, le

circuit est continu et le galvanomètre d'épreuve dévie franchement.

Si l'abonné demandé est déjà en communication, soit parce qu'il a été appelé par un autre abonné, soit parce qu'il est lui-même appelant, la téléphoniste en est prévenue ; dans le premier cas par la téléphoniste de la table centrale qui l'informe que le conjoncteur à relier n'est pas libre, dans le second cas parce que le fil 1 de l'abonné étant coupé en un point du circuit situé entre la table de section où se fait l'épreuve et la table centrale, le circuit est rompu et que le galvanomètre ne dévie pas.

Dans les deux cas la téléphoniste avise l'abonné appelant de l'état du circuit, rétablit les fils, donne le signal *libre* au tableau d'entrée et attend un autre appel.

Suppression des appels. — D'après l'organisation qui vient d'être exposée, les appels sont faits successivement, conformément d'ailleurs aux règles adoptées en général, dans le service téléphonique des bureaux centraux.

Il en résulte une cause de ralentissement que l'on a proposé de supprimer en limitant le travail de la téléphoniste, dont la fonction consisterait uniquement dans l'établissement des communications entre abonnés, en laissant à l'appelant le soin d'avertir son correspondant.

Cette disposition de service, qui peut très bien s'accorder avec le commutateur sectionné, serait surtout avantageuse si les postes d'abonnés étaient munis de dispositifs d'appel direct, le service serait alors facilité et accéléré dans de grandes proportions.

L'avantage de cette suppression d'appel serait surtout appréciable avec le commutateur multiple

parce que, dans ce système, l'épreuve du circuit et l'appel constituent deux opérations distinctes nécessitant deux manœuvres successives, tandis que dans le commutateur sectionné, l'appel et l'essai se font ensemble et par une seule manœuvre.

Fin de conversation. — L'indication de fin de conversation est donnée à la téléphoniste par la chute du volet de son électro de fin de conversation comme dans toutes les installations.

La téléphoniste enlève alors ses deux cordons souples et appuie sur le bouton poussoir du plot de renvoi qu'elle vient de laisser libre.

L'électro local de la table centrale relié à ce bouton donne à la téléphoniste l'indication de fin de conversation, elle n'a donc qu'à enlever la cheville du conjoncteur de ligne et à la replacer à son plot d'attente.

Le tout se fait sans qu'il y ait lieu d'intervenir téléphoniquement.

De ce qui précède, il résulte que toutes les communications seront établies suivant une marche uniforme représentée par la figure 2 qui a trait seulement à la formation du circuit de ligne.

Un seul annonciateur dans le circuit. — Une remarque importante peut être faite à cette occasion ; c'est que, quelle que soit l'importance du réseau, tout au moins jusqu'à 20.000 abonnés, il n'y aura jamais qu'un seul annonciateur de fin de conversation intercalé dans le circuit soit en embrochage, soit en dérivation et que, par conséquent, toute la capacité de l'appareil sera entièrement utilisée ; donc un commutateur central de 20.000 numéros, par exemple, desservira *effectivement* 20.000 abonnés.

4° EXPLOITATION.

Personnel. — Dans les heures d'activité le nombre de téléphonistes desservant un groupe de 1.000 abonnés serait de :

2 téléphonistes aux tableaux d'entrée;
12 — aux tables de section;
2 — à la table centrale.

Au total 16 téléphonistes pour 1.000 abonnés, soit une téléphoniste pour 62 abonnés.

Lorsque le travail serait moins actif, on modifierait facultativement le nombre des téléphonistes de section et on aurait, par exemple :

2 téléphonistes aux tableaux d'entrée;
6 — aux tables de section;
2 — à la table centrale.

Au total 10 téléphonistes pour 1.000 abonnés, soit une téléphoniste pour 100 abonnés.

Si, au contraire, le travail devenait exceptionnellement actif, on pourrait y satisfaire en augmentant le nombre des téléphonistes dans les sections les plus chargées. Les dimensions et les agencements des tables se prêtent facilement à ces combinaisons variées et il en résulte que le système sectionné est, par sa nature même, doué d'une grande élasticité en ce qui concerne l'effectif du personnel et la répartition du travail.

Toutes les téléphonistes assises. — Les tables et les panneaux sont proportionnés de telle sorte que l'espace vertical dans lequel doit manœuvrer chaque téléphoniste n'est pas supérieur à 0m,72 de hauteur et

1^m,25 de largeur, soit 90 décimètres carrés de surface.

Le groupement des divers appareils est agencé de façon que les téléphonistes soient *toutes assises* et qu'elles aient à leur portée tous les organes dont elles ont besoin.

Les divers intruments de travail, notamment les chevilles, sont de construction assez forte et assez robuste pour que les téléphonistes les manœuvrent aisément ; dans le même ordre d'idées, les chiffres et les indications marqués sur les volets et sur les chevilles sont assez apparents pour que toute téléphoniste puisse les lire aisément de sa place, sans fatigue de la vue.

Rendement. — En se basant sur les résultats acquis lors des expériences faites le 4 mai 1890, aux cours desquelles il a été donné plus de 100 communications en moins de 15 secondes chaque et 300 autres en un temps moyen de 20 secondes pour chacune d'elles, et en considérant la simplification des manœuvres résultant des modifications qui ont été apportées depuis, tant dans l'ensemble que dans chacun des organes du système, on pourrait, tout en portant à 20 secondes la durée moyenne de l'établissement d'une communication, obtenir un rendement normal de 2.160 communications à l'heure par 1.000 abonnés avec le concours de 16 téléphonistes, soit 135 communications par heure et par téléphoniste.

Ces chiffres sont ceux que fournirait un travail actif et régulier, ils ne peuvent évidemment être acquis que si aucun trouble n'est apporté par les abonnés eux-mêmes, car leur inexpérience ou leur lenteur sont souvent cause de retard et d'irrégularité dans le service.

5° RÉPARTITION DU TRAVAIL. RESPONSABILITÉ.

L'établissement d'une communication nécessite le concours de trois personnes.

Tableau d'entrée. — 1° La téléphoniste du tableau d'entrée, dont la fonction est purement mécanique n'a d'autre travail à accomplir que celui de presser sur les boutons d'appel des annonciateurs tombés et de répartir le travail entre les tables de section au fur et à mesure qu'il se présente.

Il ne peut donc se produire à ce tableau aucune erreur ni confusion, puisqu'au repos, les boutons poussoirs sont bloqués et cachés par les volets des annonciateurs et qu'ils ne deviennent apparents qu'après la chute desdits volets.

Table de section. — 2° La téléphoniste de section, *seule* en relation avec le public, est aussi *seule responsable* des communications qu'elle établit à sa table ou qu'elle fait établir par la table centrale.

En effet, la seule cause d'irrégularité qui puisse affecter son service consiste en ce que :

La table centrale relie, par confusion de numéros, la cheville de renvoi avec un autre abonné que celui demandé ; cette erreur proviendrait d'une négligence de la téléphoniste de section qui aurait omis de faire collationner, par la table centrale, le numéro d'abonné qu'elle lui indique.

Ce collationnement assure d'une façon absolue la régularité du travail, et comme il se fait pendant que l'abonné appelant est au téléphone, celui-ci peut intervenir et faire rectifier l'opération qui lui semblerait inexacte.

D'ailleurs, le service sera absolument assuré et toute cause de réclamation disparaîtra de ce chef, si la téléphoniste a soin de répéter les numéros reliés lorsqu'elle dit aux deux abonnés :

Communiquez.

Il est à remarquer que ces collationnements, se faisant en même temps que les manœuvres de chevilles, n'apportent aucune entrave à la rapidité du service.

Table centrale. — 3° La téléphoniste de la table centrale établit les communications d'après les indications des téléphonistes des tables de section qui *doivent vérifier* si elles sont conformes à leurs demandes.

Par conséquent, toute responsabilité doit lui échapper et incomber aux téléphonistes de section qui, seules, ont la direction du travail.

D'ailleurs, la tâche de celles-ci sera d'autant plus aisée que leurs camarades des tables centrales auront mis plus de soin à accomplir la leur.

D'après la forme des tables centrales, ce travail est rendu facile, puisqu'étant commodément assise devant un carré de 500 conjoncteurs, chaque téléphoniste a, à proximité de la main, les fiches de communication dont les prises sont aisées et dont les indications sont rendues bien visibles.

Cette disposition des tables centrales, réalisée pour les expériences faites les 27 avril et 4 mai 1890 aux ateliers des télégraphes, a été soumise à l'appréciation des dames du service téléphonique de Paris, détachées pour les essais, et elle a reçu leur approbation générale.

Des irrégularités de travail. — On a vu que pour l'établissement d'une communication, le travail était

divisé entre plusieurs personnes ; on peut alors se demander jusqu'à quel point l'inexpérience ou la négligence de l'une des téléphonistes entraverait le travail des autres, en un mot quels sont les effets de manque de cohésion du personnel.

Dans tous les systèmes de commutateur en usage, multiple ou non, il est bien évident que si la téléphoniste chargée d'un groupe de 25 ou 50 abonnés est, pour quelque raison que ce soit, incapable de remplir sa tâche, le service de ces 25 au 50 abonnés sera mal fait ou nul.

Aussi, la partie la plus délicate des fonctions de chef de service d'un bureau central est-elle dans la répartition judicieuse des téléphonistes entre les divers groupes de son bureau.

Dans le commutateur sectionné il n'en est pas de même, l'inaptitude de l'une quelconque des téléphonistes n'apportera pas de trouble dans la marche générale du service, mais seulement un ralentissement dans la partie de la section où elle se trouve.

Il est bien entendu que ce qui vient d'être dit concerne les téléphonistes des tables de section dont le rôle est prépondérant, tandis que pour les téléphonistes desservant les tableaux d'entrée et les tables centrales, il suffit qu'elles accomplissent leur travail avec le soin et l'habileté professionnelle qu'elles apportent dans le service.

(*A suivre*). MANDROUX.

NOTE

SUR

LE TÉLÉMÈTRE ÉLECTRIQUE DE M. FISKE

I. — Le problème de la mesure d'un point inaccessible est, comme solution, un des plus simples que l'on ait à résoudre en mathématiques élémentaires.

Étant donné un point P dont l'observateur A (*fig.* 1) veut connaître la distance, il mesure sur le terrain une longueur AB, et évalue les deux angles A et B.

Il a dès lors

$$\frac{AP}{\sin B} = \frac{AB}{\sin P},$$

l'angle P est ce qu'on nomme la parallaxe du point P.

Fig. 1.

Or

$$P = 180° - (A + B).$$

donc

$$AP = AB \times \frac{\sin B}{\sin (A + B)}.$$

La difficulté consiste en ce que la base AB est généralement petite par rapport à la distance inconnue AP et que, par suite, une erreur relative assez faible sur la mesure des angles produit des erreurs absolues parfois considérables sur l'évaluation de la distance.

Si, au lieu d'être sur terre, on se trouve sur un navire, le problème se complique encore de ce fait que, le navire étant en marche, les deux observations des angles doivent être faites rigoureusement au même instant.

Cette évaluation de la distance d'un point inaccessible, particulièrement utile aux officiers d'artillerie, a donné naissance à un nombre considérable d'appareils, de valeur très inégale, que l'on désigne sous le nom générique de télémètres.

Ces télémètres étaient tous jusqu'ici des appareils exclusivement terrestres; on n'avait aucun moyen précis et rapide d'évaluer la distance d'un point à un navire en marche, ni même au repos.

C'est cette lacune que vient de combler M. Bradley A. Fiske, lieutenant de vaisseau dans la marine des États-Unis d'Amérique. Il a combiné un télémètre électrique qui nous paraît appelé à rendre de sérieux services, spécialement dans ce dernier cas.

Sur le navire en effet, on dispose d'une base absolument fixe et parfaitement connue; et, d'autre part, l'appareil de M. Fiske permet d'évaluer la parallaxe avec une précision assez grande.

Cet appareil comprend deux viseurs placés aux deux extrémités du navire. Chacun de ces viseurs pivote autour d'un arbre vertical qui porte un ressort frottant sur un fil circulaire F, F′ (*fig.* 2).

Les portions CF, FD, C′F′, F′D′ des fils F et F′ peuvent être considérés comme les quatre branches d'un pont de Wheatstone. Réunissons C et C′, D et D′ par des conducteurs supposés de résistance nulle et intercalons entre deux sommets opposés une pile E, entre les deux autres un galvanomètre G.

Le réglage des viseurs et des ressorts frotteurs est tel que, lorsque les deux viseurs sont parallèles, les branches CF et C′F″ sont égales ainsi que FD et F′D″,

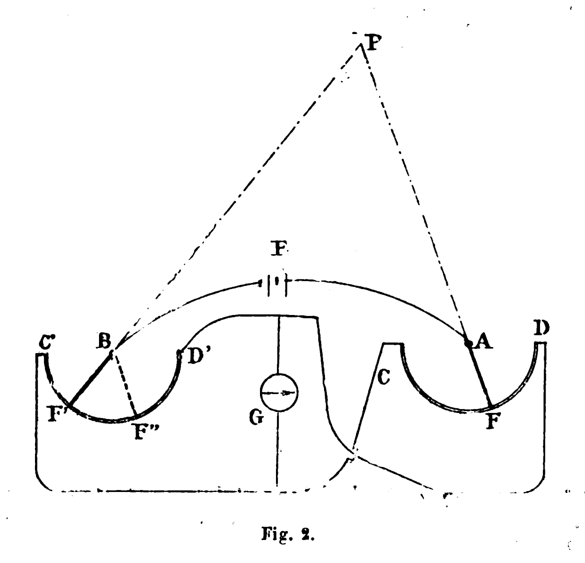


Fig. 2.

donc le pont est en équilibre. Si nous déplaçons le second viseur d'un angle F″BF′, l'équilibre est rompu et le galvanomètre dévie d'un angle proportionnel à la variation de résistance F″F′. Mais cette variation de résistance est elle-même proportionnelle à l'angle F′BF″ qui est égal à la parallaxe. D'autre part, la parallaxe étant faible dès que la distance AP devient notable, on peut sans grande erreur remplacer sin P par P et, par suite la distance inconnue AP est inversement proportionnelle à la déviation du galvanomètre.

II. — Maintenant que nous avons un aperçu de la manière dont fonctionne le télémètre, nous allons en examiner la théorie, de façon à étudier l'influence des

nombreuses causes d'erreur qui interviendraient si l'on ne prenait des précautions spéciales.

Afin de faciliter la lecture, nous réduirons au schéma indiqué (*fig.* 3) la disposition représentée par la *fig.* 2;

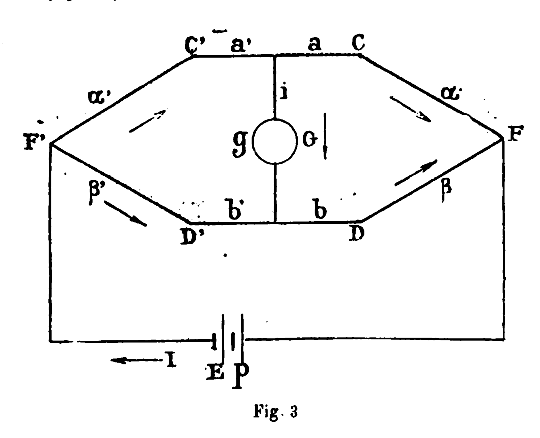


Fig. 3

désignons par $\alpha, \beta, \alpha', \beta'$ les résistances des secteurs CF, FD, C'F', F'D' et par a, b, a', b', p, g les résistances des portions de fils de secours, de la pile et du galvanomètre. Nous ne supposerons pas que les arcs CD, C'D' soient nécessairement des demi-cercles.

En appliquant aux divers circuits les théorèmes bien connus de Kirchoff et développant les calculs, on arrive à la formule suivante qui représente l'intensité du courant passant dans la branche du galvanomètre

$$i = \mathrm{E} \times \frac{(a+\alpha)(b'+\beta') - (b+\beta)(a'+\alpha')}{\mathrm{D}},$$

en désignant par D l'expression

$$\mathrm{D} = \left\{ \begin{array}{l} (a+\alpha)(a+\alpha+b+\beta)(b'+\beta') + (b+\beta)(a'+\alpha')(\alpha'+a'+b'+\beta') \\ \quad + g(a+\alpha+a'+\alpha')(b+\beta+b'+\beta') \\ \quad + p(a+\alpha+b+\beta)(a'+\alpha'+b'+\beta') \\ \quad + pg(a+\alpha+b+\beta+b'+\beta'+a'+\alpha'). \end{array} \right.$$

Cette expression compliquée peut être simplifiée au moyen de quelques transformations.

Soient d'abord les fils de secours de résistance nulle, soit $a = b = a' = b' = 0$. Nous verrons plus loin comment on réalise cette première hypothèse.

Supposons, en second lieu, les deux arcs de cercle F et F' de même longueur et désignons par m leur angle au centre. Si ρ est la résistance correspondant à l'unité d'angle pour un secteur de l'un ou l'autre de ces cercles, nous aurons

$$\alpha + \beta = m\rho,$$
$$\alpha' + \beta' = m\rho,$$
$$\beta' - \beta = \mathrm{P}\rho.$$

D'où

$$\alpha = (m + \mathrm{P})\rho - \beta',$$
$$\beta = \beta' - \mathrm{P}\rho,$$
$$\alpha' = m\rho - \beta',$$

et par suite

$$i = \frac{m\rho^2 \mathrm{EP}}{m\rho[-m\mathrm{P}\rho^2 + 2\beta'(m+\mathrm{P})\rho - 2\beta'^2] + g[(2m+\mathrm{P})\rho - 2\beta'](-\mathrm{P}\rho + 2\beta') + m^2 p\rho^2 + 2mpg\rho}$$

Ici, nous sommes obligés de considérer deux cas très distincts.

Le premier est celui où la distance à mesurer est comparable à la base choisie, c'est-à-dire où l'on ne peut confondre *sin* P avec P sans commettre une erreur sensible et parfois considérable.

Dans ce cas, la déviation du galvanomètre est une fonction complexe de l'angle P. On n'en pourrait tirer la parallaxe P que très péniblement et *la méthode est tout à fait inapplicable*.

Supposons, au contraire, la distance à mesurer grande par rapport à la base.

Pour fixer les idées, limitons à 1/300 l'erreur rela-

tive maxima que nous commettrons en remplaçant sin P par P. Comme on a

$$\sin P = P - \frac{P^3}{6} + \dots$$

Cela nous donne

$$\frac{P - \sin P}{P} = \frac{P^2}{6} + \dots < \frac{1}{300}.$$

D'où $P < \frac{1}{7}$ sensiblement.

Si, par exemple, la base est perpendiculaire à la ligne BP, il faudra, pour rester dans ces limites d'erreur, que la distance AP soit au moins 7 fois la base. La valeur de cette distance minima diminuerait d'ailleurs à mesure que BP deviendrait plus oblique sur AB, puisque le lieu du point P pour la valeur $\frac{1}{7}$ est un arc de cercle passant par les points A et B. Mais on n'est généralement pas maître d'incliner à volonté sa base sur la ligne qui en joint une des extrémités au point dont on cherche la distance.

Le plus souvent, la difficulté consiste à mesurer la distance de points éloignés, puisque pour les points rapprochés une base faible, telle que la longueur d'un sextant, suffirait.

Nous supposerons donc la parallaxe assez petite, non seulement pour qu'on puisse remplacer sin P par P, mais encore pour qu'on puisse négliger P devant m et $P\rho$ devant β'. Ce dernier point nécessitera une explication tout à l'heure.

Dans ces conditions, nous avons

$$\imath = \frac{m^2 \rho \text{EP}}{2\beta' m\rho(m\rho - \beta') + 4\beta' g(m\rho - \beta') + mp\rho(m\rho + 2g)},$$

ou

$$i = \frac{m^2 \rho \, EP}{(m\rho + 2g)[mp\rho + 2\beta'(m\rho - \beta')]}.$$

La déviation du galvanomètre, proportionnelle à i, pourra dès lors s'écrire

$$\delta = K' \frac{P}{S} = K' \frac{\sin P}{S} = K' \times \frac{AB}{AP} \times \frac{\sin B}{S} = \frac{K}{AP} \times \frac{\sin B}{S},$$

en posant

$$S = mp\rho + 2\beta'(m\rho - \beta'),$$

et désignant par K et K′ des constantes.

Cette fonction S est du second degré en β, à coefficients peu simples. Les calculs à faire pour appliquer la formule à laquelle nous aboutissons seraient, par suite, complexes et l'emploi du télémètre ne serait guère pratique. Il y avait là une difficulté dont M. Fiske s'est tiré fort habilement.

Nous n'avons aucune raison d'employer la valeur exacte de l'expression S. En effet, par suite des trois approximations que nous avons successivement introduites, nous ne possédons la valeur de la constante K qu'avec une certaine erreur relative et, par suite, il nous suffira de calculer l'expression S avec une erreur relative moindre, pour ne pas augmenter sérieusement l'erreur sur AP. Si par exemple K est connu à $\frac{6}{1000}$ près, en calculant S à $\frac{4}{1000}$ près, nous aurons encore AP à $\frac{1}{100}$ près, erreur qu'il n'y a pas intérêt à amoindrir, car elle est de l'ordre de l'erreur de lecture sur l'appréciation de la déviation δ.

Or nous avons dans S deux paramètres $m\rho$ et β,

dont nous pouvons disposer : nous allons les prendre tels que l'on ait

$$\frac{\sin B}{S} = \frac{1}{2h\rho^2},$$

pour $B = \frac{\pi}{2}$ et $B = \frac{\pi}{4}$.

Mais nous ferons tout d'abord une autre simplification. L'expression S peut s'écrire

$$S = m\rho(p + 2\beta') - 2\beta'^2.$$

M. Fiske fait en sorte que l'on ait toujours $\beta' < \frac{3}{4} m\rho$ environ, donc S restera toujours plus grand que $m\rho\left(p + \frac{\beta'}{2}\right)$ et comme, d'autre part, β' est toujours supérieur à $\frac{1}{4} m\rho$ environ, on pourra négliger p devant $\frac{\beta'}{2}$ à condition de prendre p assez faible et $m\rho$ notable.

Nous aurons alors

$$S = 2\beta'(m\rho - \beta').$$

Si, dans ces conditions, nous désignons par $\frac{\pi}{2} - \omega$ (*fig.* 4) l'angle du rayon BD' origine de l'arc avec la base AB, nous aurons

$$\frac{\beta'}{\rho} + \frac{\pi}{2} - \omega + B = \pi,$$

ou

$$\beta' = \rho\left(\frac{\pi}{2} + \omega - B\right).$$

D'où

$$S = \rho^2(\pi + 2\omega - 2B)\left(m - \omega + B - \frac{\pi}{2}\right).$$

M. Fiske, dans le but sans doute d'avoir un appareil symétrique par rapport à la perpendiculaire à la base, prend

$$m = 2\omega.$$

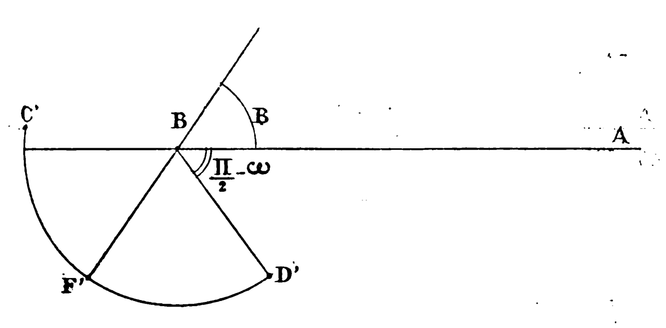


Fig. 4.

L'expression S devient alors

$$S = \rho^2(\pi + 2\omega - 2B)\left(-\frac{\pi}{2} + \omega + B\right),$$

ou

$$S = 2\rho^2\left[\omega^2 - \left(\frac{\pi}{2} - B\right)^2\right].$$

Prenons, pour simplifier, le complément B′ de B et nous aurons

$$S = 2\rho^2(\omega^2 - B'^2).$$

Par suite

$$\frac{\sin B}{S} = \frac{\cos B'}{2\rho^2(\omega^2 - B'^2)} = \frac{1}{2h\rho^2(1+\varepsilon)},$$

que nous écrirons

$$\frac{\omega^2 - B'^2}{\cos B'} = h(1+\varepsilon).$$

Pour $B = \frac{\pi}{2}$ et $B = \frac{\pi}{4}$ nons devons avoir $\varepsilon = 0$.

Soit

$$\omega^2 = h,$$

$$\frac{\omega^2 - \frac{\pi^2}{16}}{\frac{\sqrt{2}}{2}} = h = \omega^2.$$

D'où

$$\omega^2\left(1 - \frac{\sqrt{2}}{2}\right) = \frac{\pi^2}{16},$$

et

$$\omega = \frac{\pi}{4\sqrt{1 - \frac{\sqrt{2}}{2}}} = 0,924\,\frac{\pi}{2}.$$

Ce qui correspond à

$$\omega = 83°9'36'',$$

et, par suite, pour l'arc C'D' à la valeur

$$C'D' = 166°19'12''.$$

Cherchons maintenant quelle est la valeur de ε, qui représente l'erreur relative commise, pour différents angles compris entre 45 et 90 degrés.

ANGLE B	VALEUR DE B'	VALEUR DE $(1 + \varepsilon)$	ERREUR P. 100
45°	45°	1	0
50	40	1,0032	0,32
60	30	1,0043	0,43
70	20	1,0026	0,26
80	10	1,0008	0,08
90	0	1	0

L'erreur reste donc inférieure à 1/2 p. 100 ; elle est de l'ordre de celle que nous avons déjà commise, et nous pouvons écrire

$$\frac{\sin B}{S} = \frac{1}{2h\rho^2}.$$

Il en résulte immédiatement

$$\delta = \frac{K}{2h\rho^2} \times \frac{1}{AP}.$$

Ce qui montre que la distance cherchée AP est inversement proportionnelle à la déviation δ du galvanomètre.

III. — Revenons maintenant aux diverses erreurs que nous avons commises.

Nous avons admis d'abord que la résistance des fils de secours était nulle. En pratique, on annule rigoureusement deux de ces fils en amenant les extrémités des deux fils du galvanomètre aux points C et D par exemple. Restent alors les fils qui relient C à C′ et D à D′.

Il ne serait pas absolument nécessaire de les annuler. Les branches C C′ F′, D D′ F′ doivent avoir des résistances égales aux branches CF et DF. Il n'y aurait donc qu'à retrancher à l'arc C′F′D′ une longueur de résistance correspondante à celle des fils de secours.

Pratiquement, cette disposition aurait un inconvénient : c'est que les fils de secours ne s'échaufferaient pas de la même façon que les arcs et que, par suite, l'équilibre établi à une certaine température serait détruit à toutes les autres.

Aussi emploie-t-on pour former les arcs CD et C′D′ un fil d'un alliage où le maillechort domine, de 2 à 3/10 de millimètres de diamètre, ayant environ 3 ohms par mètre de longueur. Les fils de secours qui servent à relier les deux arcs sont au contraire de gros câbles en cuivre, n'ayant guère que 2/10 d'ohm au kilomètre. Chaque fil de secours de jonction n'a donc jamais plus de $0^{\omega},02$ de résistance, chacun des arcs ayant environ 2 ohms.

On peut alors s'en tenir à la disposition que nous venons d'indiquer, les variations de températures n'ayant plus la même importance.

Ce fil fin de maillechort est appliqué contre une rainure creusée dans un massif en ébonite ; le contact est pris au moyen d'un biseau d'argent.

Afin d'assurer la concordance des deux visées vers un même but, chaque opérateur a devant lui un microphone et à l'oreille un téléphone correspondant avec l'autre poste.

Nous avons dit ensuite que l'on pouvait négliger $P\rho$ devant β'. Ceci suppose que β' ne devient jamais très petit. Et, en effet, M. Fiske ne se sert de son appareil que dans un secteur de 90 degrés, de telle sorte que β' ne varie que de $\rho\left(\omega-\frac{\pi}{4}\right)$ à $\rho\left(\omega+\frac{\pi}{4}\right)$.

Dans ces conditions, on a le droit de négliger $P\rho$ devant β', mais l'espace que peut fouiller l'appareil se réduit à la partie hachée de la *fig.* 5. On peut desser-

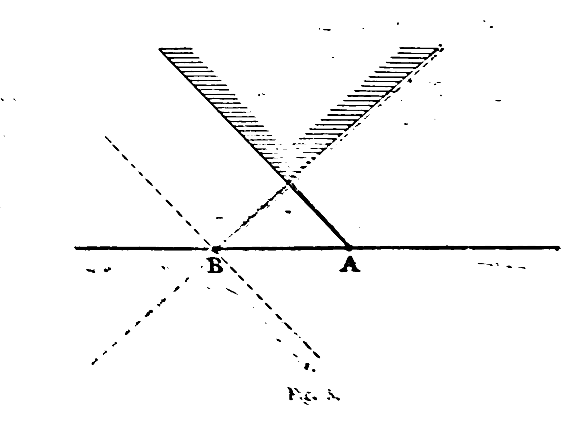


Fig. 5.

vir l'espace symétrique par rapport à AB en tournant de 180 degrés chacun des plateaux qui portent les té-

lescopes et les arcs CD, C′D′, ce qui se fait simplement en enlevant un goujon reliant le plateau porte-fil avec un plateau fixe inférieur. Lorsque le plateau a fait une demi-révolution, ce goujon trouve de nouveau sa place dans le plateau fixe.

Pour desservir le reste de l'espace, on est alors obligé de placer deux autres appareils, qui emploient comme base l'axe transversal du navire. La *fig.* 6

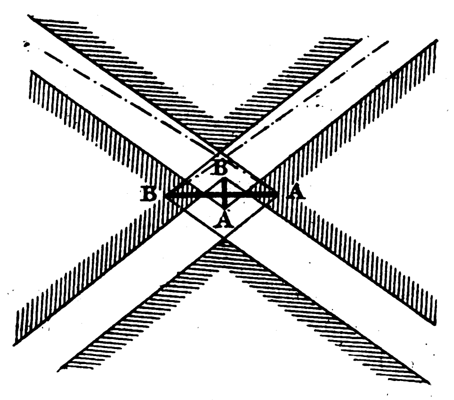


Fig. 6.

donne l'espace ainsi desservi et montre qu'en allant à un peu plus de 45 degrés de chaque axe, on arrive à desservir tout l'espace, sauf une région très rapprochée du navire, dans laquelle les formules trouvées ne s'appliquent pas.

Nous avons enfin supposé la résistance intérieure de la pile négligeable devant celle du quart d'un arc. M. Fiske arrive à ce résultat en employant un accumulateur Julien qui a en outre l'avantage de ne pas se polariser.

En somme, quelque légitime que soit la manière de

procéder que nous avons employée, l'accumulation de plusieurs petites erreurs finit par produire une erreur notable, et il nous semble que le calcul indique la possibilité d'évaluer les distances au moyen de la seule lecture du galvanomètre, plutôt qu'il ne donne la loi même de cette graduation.

C'est, du reste, ce qu'a fort bien compris M. Fiske, car il gradue son galvanomètre, non pas théoriquement, mais empiriquement, en notant les déviations correspondantes à des distances connues et interpolant.

IV. — Il nous reste maintenant à jeter un coup d'œil sur les causes d'erreur qui peuvent intervenir au cours d'une expérience.

Ces causes d'erreur sont de deux sortes : des forces électro-motrices parasites, ou des résistances anormales.

Si la force électro-motrice de la pile varie, comme la déviation du galvanomètre lui est directement proportionnelle, la distance observée varie inversement et proportionnellement.

C'est afin de réduire à néant cette cause d'erreur que M. Fiske emploie, comme source d'électricité, un accumulateur. On sait en effet que, sauf dans le voisinage du maximum de charge ou de la décharge complète, la force électro-motrice de l'accumulateur ne varie que très lentement pendant la décharge, de telle sorte qu'on peut considérer cette force électro-motrice comme constante *pendant la durée* d'une expérience.

Nous supposerons qu'il n'y aura jamais de force électro-motrice voltaïque, les appareils étant généralement placés assez haut pour que l'eau de la mer ne puisse les atteindre, sauf dans le cas de très gros temps où les mesures seraient par cela même impossibles.

Mais il peut intervenir des forces électro-motrices thermo-électriques aux points de jonction du fil de maillechort et du câble en cuivre. Ces deux points sont en effet pour chaque arc, à peu près directement opposés et il est vraisemblable que, lorsque le soleil frappera sur l'un, l'autre sera à l'ombre, ce qui les portera à deux températures très différentes, et pourra donner naissance à des forces électro-motrices très appréciables.

Ces forces électro-motrices étant dans les branches du pont, agiront comme des variations de résistance de ces branches, variations que nous allons étudier.

Les variations de résistance des branches proviennent de deux causes différentes : le passage du courant, les causes extérieures.

En ce qui concerne la première de ces causes, nous avons un fil conducteur, n'ayant guère que $\frac{7}{100}$ de millimètre carré de section, parcouru par un courant d'environ 1 ampère. Il est certain que, dans ces conditions, il chauffera fortement.

Il est d'ailleurs à remarquer qu'il chauffera uniformément et que, par suite, les rapports $\frac{DF}{CF}$ et $\frac{D'F'}{C'F'}$, seront conservés. L'effet produit se bornera donc à une variation de la constante $\frac{K}{2h\rho^2}$.

Aussi cette constante $\frac{K}{2h\rho^2}$ est-elle déterminée empiriquement au moment même de faire chaque expérience avant, ou mieux avant et après. Pour cela on fait faire aux deux viseurs avec l'axe du navire des angles bien déterminées ; on sait par une expérience faite

à l'usine, avant la mise en place des appareils, que les deux viseurs, dans cette position parfaitement définie, correspondent à une distance de 1.000 mètres par exemple, et on amène l'aiguille du galvanomètre sur la division correspondante en agissant sur une résistance variable intercalée dans la branche du galvanomètre. On tient ainsi compte empiriquement des trois causes d'erreur que nous venons de signaler.

Ce galvanomètre est un galvanomètre Weston, à faible résistance et très apériodique, grâce à une couche de cuivre déposé électrolytiquement autour de la bobine mobile, cuivre dans lequel se développent des courants d'induction intenses dès que la bobine se meut. En vertu de la loi de Lenz, ces courants d'induction tendent à gêner le mouvement et, grâce à cette disposition, le galvanomètre est apériodique même à circuit ouvert, avantage précieux.

Il nous reste malheureusement à envisager une autre cause d'erreur qui nous paraît beaucoup plus grave : c'est la variation de résistance produite par les échauffements extérieurs, le soleil par exemple, qu'il soit reçu directement ou tamisé par des toiles. Ces échauffements produisent certainement des variations de résistance inégales suivant les différents points du circuit. Il y a donc là un phénomène complexe, qu'il est impossible de soumettre au calcul. L'expérience seule, et une expérience prolongée dira si les erreurs introduites de ce chef sont, ou non, acceptables.

V. — M. Fiske a donné récemment, à *son appareil*, une autre forme permettant en quelque sorte de dessiner, à échelle réduite, un profil longitudinal.

Dans cet appareil, le cercle CD, au lieu de porter un viseur, porte un bras M (*fig.* 7), qui est parallèle au

viseur BF' lorsque l'équilibre est établi dans le pont. Le viseur AF porte un bras N, parallèle à l'axe de la lunette, de telle sorte que l'angle des bras M et N est

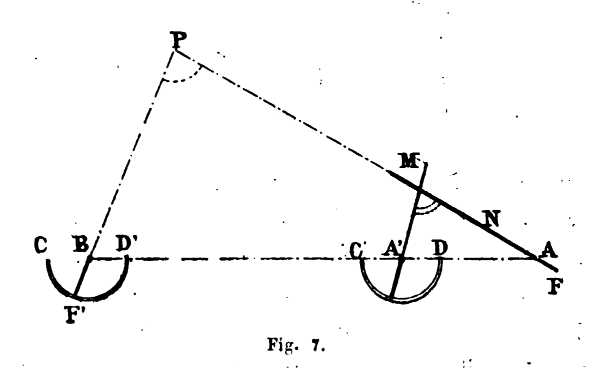


Fig. 7.

précisément la parallaxe P. L'intersection des deux bras M et N donne donc, à l'échelle réduite $\frac{AA'}{AB}$ la position du point M et l'on peut dessiner ainsi un bastion, une côte, ou tout profil accidenté.

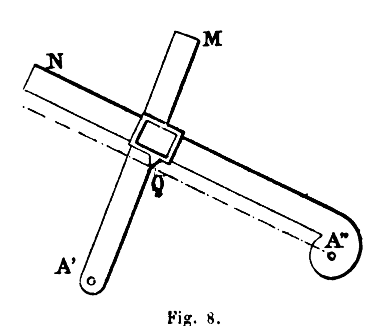


Fig. 8.

Pour avoir une précision plus grande, le bras N est une règle mobile autour d'un point qui lui est extérieur (*fig.* 8). Cette règle porte sur un petit chariot terminé par une pointe fine, qui se trouve sur la parallèle au

bord de la règle menée par le pivot, et qu'on appuie sur la règle M, divisée. On a ainsi, avec une grande précision, la distance A′Q, proportionnelle à BP, ou A″Q proportionnelle à AP.

VI. — En résumé, le télémètre électrique de M. Fiske est un appareil d'un très vif intérêt, bien qu'on doive reconnaître qu'il comporte quelques légères causes d'erreur.

Tout en se félicitant du résultat auquel M. Fiske est arrivé, si l'on en juge d'après les expériences qui ont eu lieu récemment, il convient en effet d'attendre, pour se former un jugement définitif, que l'appareil ait été soigneusement et surtout longuement expérimenté. Des expériences, quelque approfondies qu'elles puissent être, ont toujours besoin d'être confirmées par quelques mois de service courant.

E. Brylinski,

Sous-Ingénieur.

NOUVELLE MÉTHODE

POUR AMÉLIORER LE RENDEMENT

DES

LIGNES TÉLÉGRAPHIQUES A GRANDE DISTANCE (*)

Cette méthode consiste à établir à chaque extrémité de la ligne, à l'entrée du poste télégraphique, une dérivation à la terre possédant un *coefficient de self-induction* assez considérable pour que les effets nuisibles, bien connus, résultant de la *capacité électrostatique* du conducteur, pendant la période variable du courant (diffusion du courant, etc.), se trouvent, sinon compensés, du moins atténués dans une grande proportion par les effets inverses que tend à produire la self-induction.

Elle est applicable aux divers systèmes de transmission, qui peuvent être divisés en trois catégories : 1° ceux dans lesquels toutes les émissions, quel que soit leur sens, positif ou négatif, doivent produire un signal, et sont, dès lors, séparées par des intervalles, durant lesquels la ligne cesse d'être mise en communication avec une source électrique ; 2° ceux dans lesquels la ligne se trouve toujours mise en communication, au poste transmetteur, avec une pile, tantôt positive, tantôt négative, les courants positifs étant utilisés comme courants de travail ou d'*impression* et

(*) *Comptes rendus de l'Académie des sciences*, 1888, t. CVII, p. 782.

les courants négatifs comme courants de repos ou d'*espacement* ; 3° ceux qui tiennent à la fois des deux premiers, comme par exemple certains appareils transmetteurs à courants de décharge.

Dans le premier cas, la dérivation présente au début de l'émission et par suite de son inertie électro-magnétique, une résistance *apparente* considérable et n'affaiblit pas sensiblement le courant qui charge la ligne ; elle donne lieu ensuite, à la fin de l'émission, à un extra-courant qui agit pour faciliter la décharge de la ligne, comme le ferait une émission de sens contraire, succédant *sans interruption* à la première. Les signaux à l'arrivée sont ainsi plus nettement espacés et le récepteur même du poste de départ est protégé contre les effets du courant de décharge ou courant de retour.

Dans le deuxième cas, la dérivation donne également lieu, au moment de chaque inversion, à un extra-courant agissant *immédiatement* et produisant le même effet que si la pile inverse était momentanément augmentée ; elle contribue donc à diminuer la durée de la période variable et conséquemment, à augmenter la vitesse de transmission.

Dans le troisième cas, son action s'explique de la même manière que dans les deux autres.

Les considérations ci-dessus concernent l'action de la dérivation placée au poste transmetteur. Or, le système complet comporte une dérivation semblable à chaque extrémité de la ligne ; mais on sait depuis longtemps qu'une dérivation *électro-magnétique* (*electro-magnetic shunt*) au poste récepteur favorise la rapidité des transmissions et la netteté des signaux ; c'est là un effet connu et utilisé, notamment sur les longues lignes aériennes de l'empire des Indes.

La présence d'une dérivation de même nature vers le milieu de la ligne produit un effet analogue, comme je l'ai constaté expérimentalement ; mais elle nécessite l'emploi, aux extrémités, d'appareils récepteurs plus sensibles ou de piles un peu plus fortes.

La méthode s'appliquant comme il a été dit, à la généralité des systèmes télégraphiques, quels que soient les appareils des postes extrêmes ou intermédiaires (transmetteurs, relais, récepteurs, etc.), offre donc un moyen de remplacer par un dispositif plus simple les procédés dits de décharge ou de compensation mécaniques ou autres, actuellement en usage, notamment sur les lignes souterraines et sur quelques lignes sous-marines.

Elle a été expérimentée avec succès au Poste Central des télégraphes, avec l'autorisation de l'Administration, sur plusieurs lignes souterraines à grande distance, entre autres sur celle de Paris à Angoulême (500 kilomètres). On a pu, au cours d'expérience avec cette dernière localité, transmettre à la vitesse de 20 mots par minute, avec un appareil Morse ordinaire, sans relais intermédiaire ni local, et en n'utilisant qu'un seul sens de courant. La ligne avait une résistance de 5.000 ohms et une capacité de 100 microfarads ; la dérivation qui comprenait un électro-aimant à circuit magnétique fermé et une petite bobine auxiliaire, avait une résistance de 780 ohms et un coefficient de self-induction égal à 12 unités pratiques ; la pile était formée de 50 éléments Callaud.

Des résultats également satisfaisants ont été obtenus avec d'autres appareils, mais l'exemple cité semble suffisant.

L'expérience a démontré qu'il n'est pas indispensable

dans la pratique, d'avoir une neutralisation parfaite des effets inverses de la capacité de la ligne et de la self-induction de la dérivation : c'est ainsi que le même électro-aimant a donné des résultats également bons sur des lignes souterraines de 250 à 350 kilomètres ; un autre a pu servir pour des essais sur des lignes de 400 à 700 kilomètres ; il suffisait, pour chaque ligne nouvelle, de prendre la pile convenant à cette ligne, puis de faire varier un peu la résistance de la bobine auxiliaire, ou bien de rompre le circuit magnétique de l'électro-aimant pour éloigner plus ou moins les pièces de fer doux constituant les armatures.

On pourrait toutefois, pour des expériences plus délicates, avoir recours à des boîtes renfermant un certain nombre de bobines ou électro-aimants, disposés de manière à pouvoir être groupés à volonté pour donner une graduation déterminée.

Fernand Godfroy.

APPAREIL DE COMPENSATION ET DE DÉCHARGE

Système GODFROY

La capacité électro-statique des conducteurs est une des principales causes qui entravent la régularité et la rapidité des transmissions sur les lignes souterraines.

Il en résulte, d'une part, dans le poste d'arrivée la confusion des signaux reçus et dans le poste du transmetteur des courants de décharge très gênants et qui peuvent même empêcher totalement l'emploi des relais non polarisés dans les postes intermédiaires.

Pour éviter ces inconvénients, on a eu recours à différents procédés; les plus connus sont la mise momentanée à la terre après chaque émission ou l'envoi d'un courant de sens contraire à celui qui produit les signaux.

Pour réaliser cette communication avec la terre ou avec la pile de décharge, on peut employer soit des manipulateurs spéciaux assez compliqués, soit des parleurs embrochés dans le circuit de la pile principale.

M. Godfroy a proposé une méthode simple, sans réglage et pouvant s'adapter indifféremment à tous les modes de transmission, dans les postes extrêmes comme dans les postes intermédiaires et quels que soient les appareils en usage.

Cette solution consiste à établir à chaque extrémité de la ligne, ou de chaque section de ligne en cas de relais, une dérivation à la terre présentant une résistance relativement faible par rapport à celle du circuit, mais possédant un coefficient de self-induction assez considérable pour que les effets nuisibles résultant de la capacité électro-statique du conducteur se trouvent autant que possible compensés ou tout au moins atténués dans une grande proportion par les actions inverses que tend à produire la self-induction de la dérivation.

La figure 1 indique la disposition des divers organes composant l'installation et permet d'en expliquer le fonctionnement.

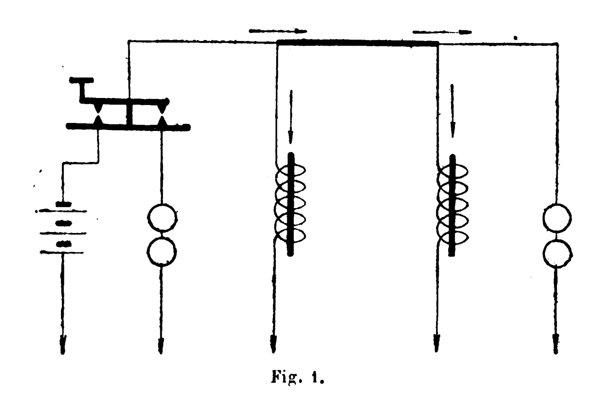


Fig. 1.

Au poste transmetteur la dérivation agit à peu près de la manière suivante : quand on abaisse le levier du manipulateur, la force électromotrice de la dérivation s'oppose au premier moment au passage du courant à la terre, c'est comme si l'électro avait une résistance très élevée; donc la charge de la ligne atteint une certaine valeur aussi vite que si la dérivation n'existait

pas. Si l'émission se prolonge, la force électromotrice d'induction diminue de plus en plus jusqu'au moment où elle devient nulle; pendant ce temps la dérivation se comporte comme si elle était formée par une résistance graduellement décroissante jusqu'à sa valeur réelle.

Le résultat au point de vue de l'émission sur la ligne est le même que si la pile était shuntée par une dérivation de plus en plus faible. Il s'ensuit que si toutes les conditions sont bien calculées, l'émission d'un trait peut ne pas charger la ligne plus que celle d'un point.

Quand on abandonne le levier du manipulateur et pendant qu'il est en suspension entre les contacts de travail et de repos, le courant de décharge trouve une issue à la terre par la dérivation, et de plus la nouvelle force électromotrice d'induction inverse de la première agit comme une pile de nom contraire de celle qui servait à la transmission du signal, ce qui active la décharge et annule le courant de retour ou du moins l'affaiblit de telle sorte qu'il n'est plus capable d'agir sur le récepteur.

Dans le poste d'arrivée, la dérivation produit un courant de self-induction opposé à celui qui se développe dans le récepteur; cet effet s'ajoutant aux précédents, contribue à accélérer le retour de l'armature à sa position de repos et à faire disparaître les queues de courant.

Les électro-aimants employés par M. Godfroy (*fig.* 2) sont de même forme et de mêmes dimensions que ceux des récepteurs Morse ordinaires, mais dépourvus des vis et rondelles en laiton qui existent dans quelques-uns de ces derniers.

L'armature a les mêmes dimensions que la culasse : elle est pressée par un ressort bombé DD contre les pôles de l'électro-aimant, les vis V_1 et V_2 qui ont leur

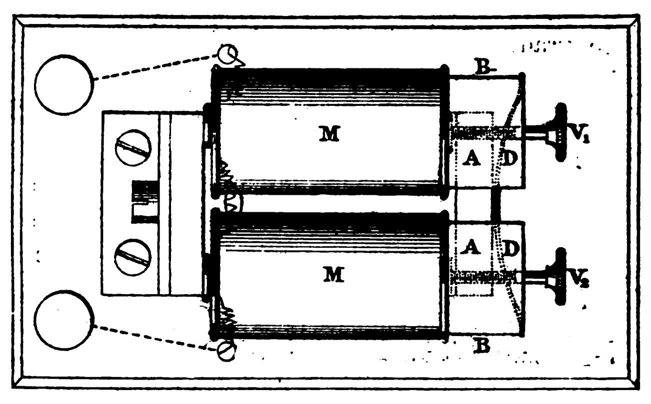


Fig. 2.

pas dans l'armature même, s'appuient quand on les serre contre les noyaux et en écartent graduellement l'armature en comprimant le ressort DD. On peut soit par cette manœuvre de vis, soit par l'addition d'une résistance fixée sous le socle de l'électro-aimant, soit par le groupement des bobines, faire varier dans d'assez grandes proportions le rapport entre la self-induction et la résistance, de sorte qu'il suffit d'un petit nombre de types pour la plupart des cas.

Trois modèles ont été mis en service sur les fils du réseau français ; ils ont des résistances respectives de 500, 750 et 1.000 ohms. Le coefficient de self-induction peut varier de 10 à 120 unités pratiques.

La dérivation peut être établie sur la table de manipulation entre la borne de ligne du manipulateur et la terre ; il est préférable de l'installer près des tableaux commutateurs d'arrivée des fils ; elle fait pour ainsi

dire partie de la ligne, et une fois réglée pour le conducteur auquel elle est destinée, il n'y a plus à y toucher, même quand on changerait les appareils ou le système de transmission.

Une conséquence de l'emploi de la méthode Godfroy est de diminuer l'intensité du courant utilisé dans le récepteur; mais il suffit généralement pour remédier à cet inconvénient d'augmenter de quelques unités le nombre des éléments de la pile ; en effet, si celle-ci est peu résistante l'affaiblissement du courant envoyé sur la ligne est peu sensible, et dans le poste d'arrivée l'électro-aimant du récepteur étant moins résistant que la dérivation sera traversé par la majeure partie du courant venant de la ligne; ce récepteur pourra d'ailleurs être sensibilisé et fonctionner régulièrement, grâce au redressement des courbes d'intensité et à l'indépendance des courants successivement reçus.

C'est vers la fin de l'année 1888 que les appareils de M. Godfroy ont été pour la première fois essayés sur quelques fils souterrains du réseau français : les résultats ont été des plus satisfaisants. Il a été possible de supprimer sur les lignes de moyenne longueur les relais qu'on avait été précédemment obligé d'intercaler sur le parcours des conducteurs; sur les lignes les plus courtes où le service se faisait avec une facilité relative, l'augmentation de rendement a encore été supérieure à 50 p. 100. Depuis ces premiers essais, le système a été appliqué successivement à d'autres fils au fur et à mesure de la construction de nouveaux instruments, et il y a actuellement environ soixante circuits où les appareils en décharge sont installés ou en cours d'installation.

Quoique ces appareils aient permis de correspondre

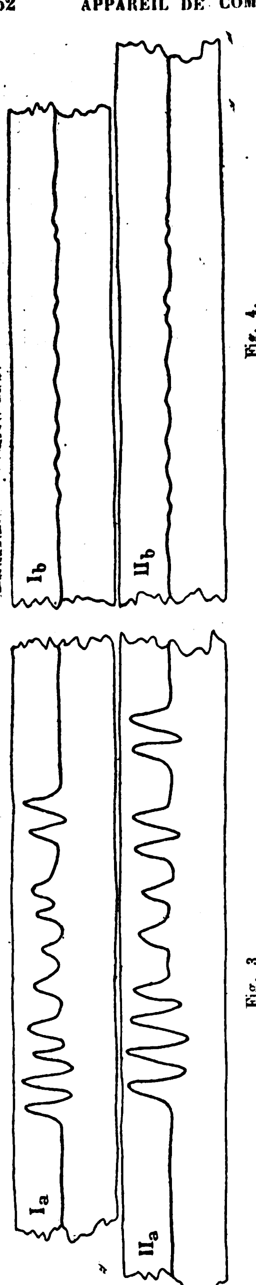


Fig. 4.

Fig. 3.

en communication directe sur des lignes souterraines longues de plus de 900 kilomètres, il est préférable d'avoir recours à des relais translateurs et au fractionnement de la ligne quand celle-ci a plus de 500 kilomètres de longueur (ou 350 kilomètres si le câble est du modèle M); les dérivations sont alors placées sur chaque section près du translateur. Celui-ci peut être alors privé de parleurs ou relais de décharge, ce qui en simplifie considérablement le réglage.

La méthode Godfroy peut également être employée pour augmenter le rendement des fils aériens de très grande longueur et dont la capacité est considérable. Toutefois comme dans les conducteurs de cette catégorie, les courants de charge et de décharge varient souvent d'un jour à l'autre, il peut devenir nécessaire de faire varier également la self-induction et la résistance des dérivations.

Outre les essais qui ont eu lieu en France et qui ont donné d'excellents résultats, il en a été effectué d'autres à

l'étranger, notamment en Suisse et en Allemagne.

En Suisse, le docteur Tobler, professeur à l'école polytechnique de Zurich, opérant sur une ligne artificielle avec des instruments construits en France, a procédé à des expériences décrites en détail dans le *Journal télégraphique* de Berne.

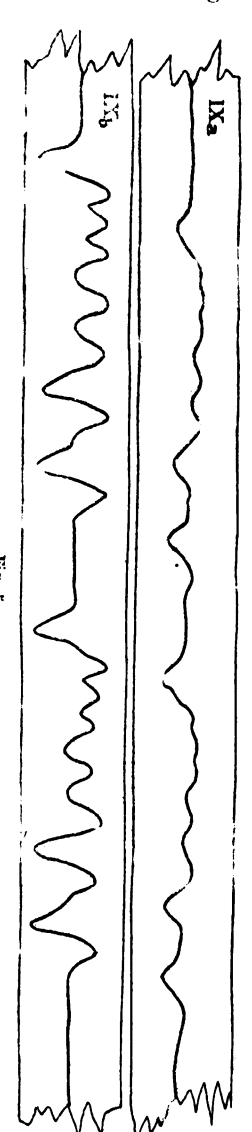


Fig. 5.

Un siphon recorder ayant été juxtaposé au récepteur du poste de transmission enregistrait les courants de décharge venant de la ligne.

On voit en I *a* et II *a* (*fig.* 3 et 4) la forme des signaux reçus quand on transmettait sur la ligne non modifiée. Avec les appareils Godfroy mis en dérivation la décharge était réduite comme l'indiquent les courbes I *b* et II *b*.

M. Tobler a constaté de la même façon l'heureux effet de la même dérivation dans le poste de réception.

La courbe IX *a* (*fig.* 5) représente quelques signaux reçus en shuntant le récepteur au moyen d'une résistance ordinaire de 700 ohms.

En remplaçant cette résistance par la dérivation God-

froy, on obtient avec les mêmes émissions la courbe IX *b*.

En Allemagne, des expériences faites d'abord avec des appareils anti-inducteurs par MM. les ingénieurs Grawinkel et Streiker ont également donné des résultats favorables : aussi l'administration allemande a-t-elle depuis près d'un an installé le système avec le plus grand succès sur plusieurs lignes aériennes et souterraines de son réseau.

H. CAILLERET.

EMPLOI

D'UNE DÉRIVATION ÉLECTRO-MAGNÉTIQUE

POUR AMÉLIORER

LE RENDEMENT D'UNE LIGNE TÉLÉGRAPHIQUE (*)

Un système de télégraphie automatique (**) a été récemment présenté en Amérique ; c'est un perfectionnement du système à papier percé et à impression chimique de Bain qui était mis en pratique dans ce pays en 1845.

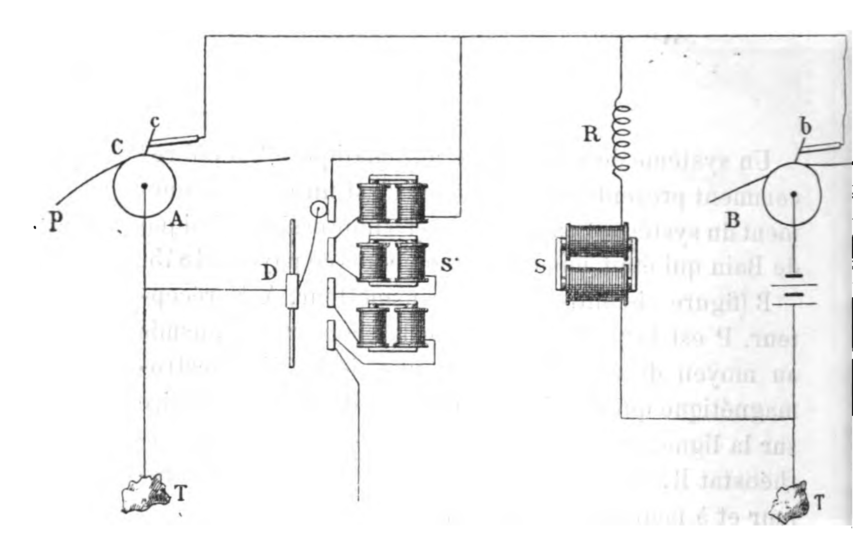
B (figure ci-contre) est le transmetteur, A le récepteur, P est le papier qui dirige les courants transmis au moyen du style *b* ; S est une dérivation électro-magnétique qui envoie des courants de signe contraire sur la ligne, et dont les intensités sont réglées par le rhéostat R, de manière à annihiler les courants de retour et à neutraliser la ligne.

C est le récepteur consistant en un style *c* reposant sur le papier préparé chimiquement *p*, relié lui-même à une dérivation électro-magnétique S′ qui peut-être réglée et dont on fait varier les extra-courants à l'aide de la glissière D, de manière à l'adapter aux différentes

(*) Cette note est la traduction d'un extrait d'un article de M. Preece « On shunts » publié en 1877 dans le *Journal of the Society of telegraph engineers* (p. 66). Le comité de rédaction des *Annales télégraphiques* a cru devoir la publier à la suite de la description des essais heureux de M. Godfroy, en faisant remarquer que le système de dérivation électro-magnétique décrit par M. Preece ne paraît pas avoir été essayé en Angleterre (*Note de la R.*).

(**) Ce système est appelé système Edison, mais il est revendiqué par M. Little et autres. Il semblerait cependant que M. Edison a appliqué la dérivation électro-magnétique à l'imprimeur de Bain, tandis que M. Little a employé le condensateur dans un but semblable.

conditions de la ligne. De cette manière les empreintes sont rognées de telle sorte que les queues n'existent pas et que la vitesse de transmission est considérablement augmentée. Sir William Thomson dit qu'il a vu transmettre 1.015 mots en 57 secondes.



Les effets d'une dérivation magnétique ont été décrits en J. 2.

Blaserna (*) a montré que les courbes formées par les extra-courants sont de même forme que celles produites par l'induction électrostatique et que leur effet est semblable en ce qui concerne le temps ; comme, d'un autre côté, on peut les opposer en direction, il est évident qu'ils peuvent se neutraliser les uns les autres.

(*Journal of the Society of telegraph engineers*), 1877, p. 66).

(*) *Delle Correnti d'Induzione e della Estra Correnti*, professeur Blaserna, Palerme, 1870.

NOTE

SUR UNE

LIGNE SOUTERRAINE EN CONDUITE DE CIMENT

Suite (*)

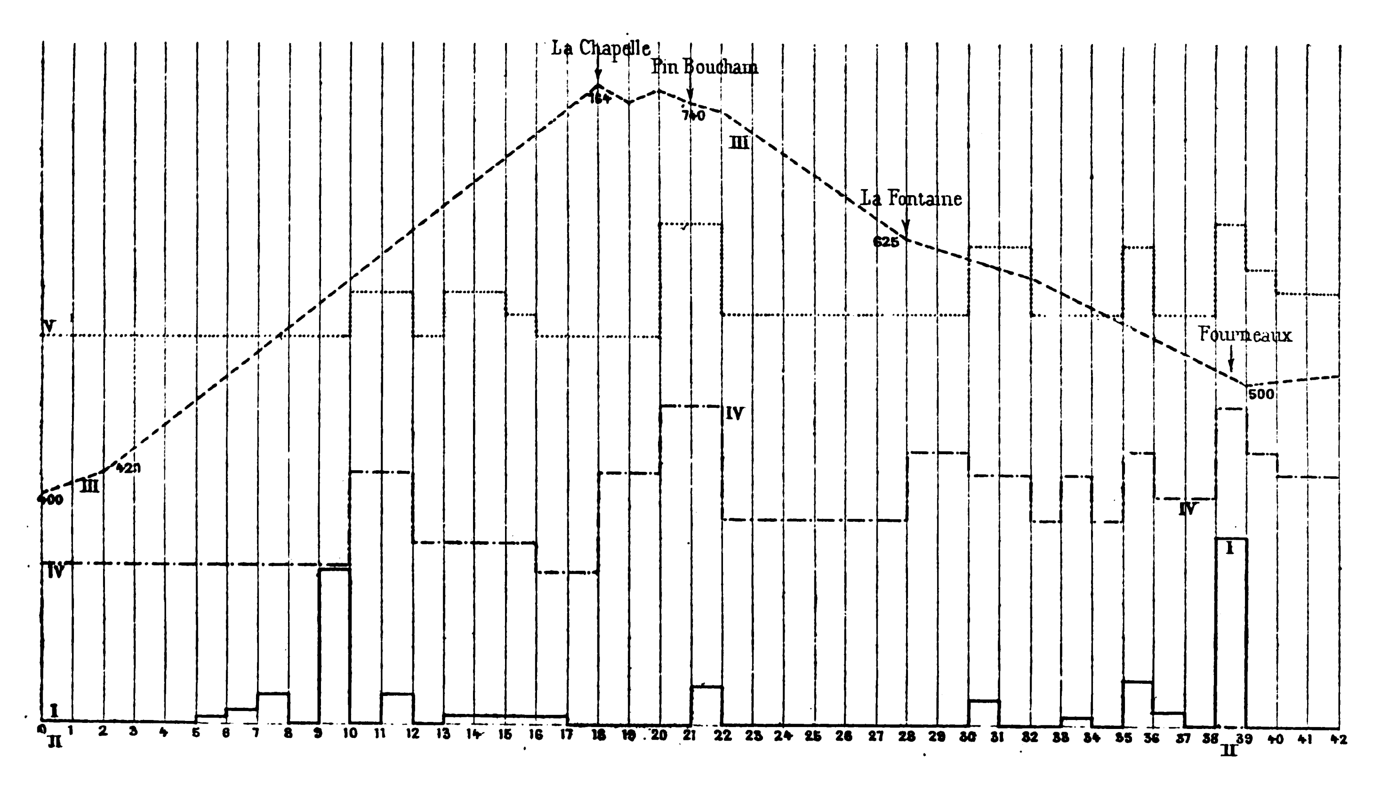
Ces remarques faites, je vais revenir sur les courbes que j'ai construites et m'en servir pour montrer combien irrégulière est la répartition des défauts.

La courbe I est la courbe de répartition des défauts. J'ai porté en abcisses les sections successives et en ordonnées le nombre de défauts réparés dans chaque section.

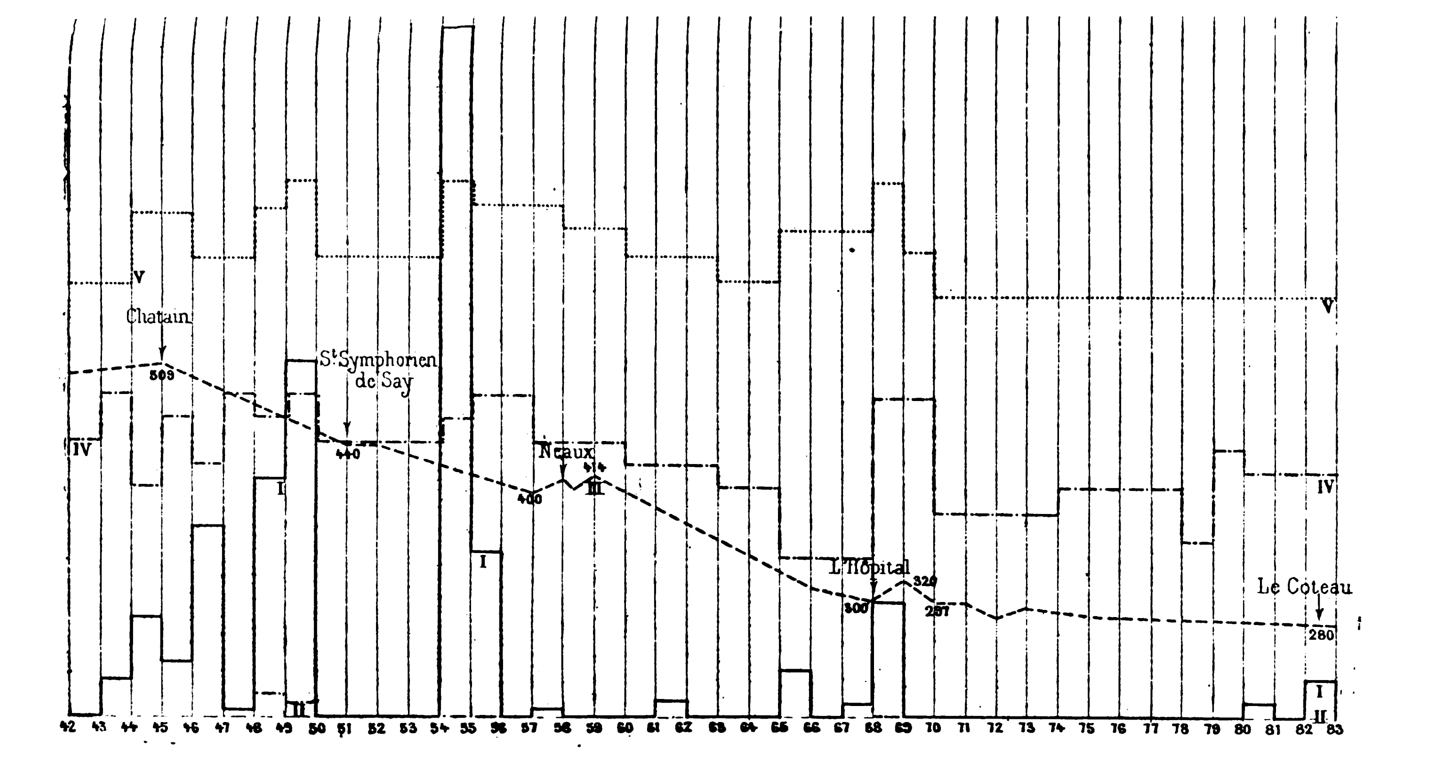
La courbe II ne diffère de la courbe I qu'en ce que j'y ai porté seulement les défauts que je considère comme provenant exclusivement de coups de foudre. Elle est donc confondue avec la courbe I partout où il n'y a pas de défauts résultant uniquement de taches de ciment. Je remarquerai à ce propos que les sections où se trouvent ces taches comportent souvent des défauts provenant de coups de foudre, la décharge trouvant une issue facile à travers la gutta amincie.

La courbe III représente le profil même de la route dans laquelle est enfouie la conduite de ciment. Un simple coup d'œil sur chaque section suffit à indiquer

(*) Voir *Annales télégraphiques*, mars-avril 1891, p. 163.



La Chapelle
Pin Boucham
La Fontaine
Fourneaux
400
420
740
625
500
I
II
III
IV
V
0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17 18 19 20 21 22 23 24 25 26 27 28 29 30 31 32 33 34 35 36 37 38 39 40 41 42



Chatain
509
St.Symphorien de Say
440
Neaux
400
414
L'Hôpital
300
320
287
Le Coteau
280
I
II
III
IV
V
42 43 44 45 46 47 48 49 50 51 52 53 54 55 56 57 58 59 60 61 62 63 64 65 66 67 68 69 70 71 72 73 74 75 76 77 78 79 80 81 82 83

son altitude et sa pente. Ce dernier élément parait à *priori* très important. Il semblerait évident en effet que partout où la pente est notable et régulière, l'eau courante doit conserver le câble, que partout où la pente est très faible, partout où il y a une cuvette, l'eau doit dormir et pourrir l'enveloppe. Ces prévisions ne se réalisent pas, ce qui empêche absolument l'emploi d'un moyen préconisé il y a quelques années, moyen consistant à introduire les sources dans la conduite.

Les courbes IV et V représentent respectivement l'état de conservation de l'enveloppe et de la gutta. Pour obtenir ces courbes on a donné des notes variant de 0 à 7, à cet état de conservation; 0 représentant l'état excellent de conservation et 7 l'état de conservation nulle, et on a porté ces notes en ordonnées. Ces deux courbes sont indépendantes l'une de l'autre; il y a en effet des sections où l'enveloppe est très mal conservée et où la gutta est encore bonne; il y en a d'autres au contraire où l'enveloppe est très bien conservée (66, 67 et 68e sections) et où la gutta a subi la modification jaune blanchâtre signalée plusieurs fois, et notamment par le regretté Schæffer dans les lignes en ciment de la Maurienne (*). La gutta a en ces points l'aspect et la consistance de la cire; elle a perdu de ses qualités isolantes et surtout beaucoup de sa résistance au passage de la décharge.

Afin de séparer nettement ces courbes les unes des autres, nous leur avons supposé des axes des X différents. En partant de l'axe des X des courbes I et II, celui de la courbe III, correspondant au niveau de la mer, serait placé 100 divisions au-dessous, celui de la

(*) *Annales télégraphiques*, t. XVI, t. 1889, p. 429.

courbe IV, 70 divisions au-dessus, et celui de la courbe V, 170 divisions au-dessus.

Si nous considérons d'abord la courbe II, celle relative aux coups de foudre, nous voyons qu'ils sont très irrégulièrement distribués. Il y en a aux altitudes élevées (22e section) comme aux altitudes basses (83e section); le long des pentes fortes (10e section), comme le long des pentes faibles (22e, 45e, 83e sections), dans des sections où l'état de conservation de la gutta et même du câble est excellent (10e section), tandis que d'autres sections, où il est détestable (21e, 32e, 40e, 57e sections), sont indemnes.

Il en résulte très clairement que ces défauts, provenant de coups de foudre, sont répartis au hasard tout le long de la ligne et que, si l'on est amené à prendre des mesures de protection, il ne faudra pas protéger telle ou telle section, mais bien la ligne tout entière.

En ce qui concerne les causes possibles de l'altération de l'enveloppe du câble, elles restent tout aussi obscures. Ainsi il est bien vrai que dans les 21e, 22e, 39e, 57e, 80e sections, où la pente est très faible, où il y a des cuvettes, l'enveloppe est fort mal conservée. Mais d'autre part, elle est aussi mal conservée dans les 11e et 12e sections, qui sont sur la longue et forte pente de la montée de Tarare, dans la 36e section, également sur une pente notable, dans les 48e et 50e sections, sur la pente régulière à 2,3 p. 100 de Chatain à Saint-Symphorien, dans la 69e section, sur la forte pente de l'Hôpital. Au contraire, l'état de conservation est également bon sur une partie de la montée de Tarare et sur la route de l'Hôpital au Coteau, dont la pente est à peine appréciable.

Nous nous trouvons donc en présence d'une série de défauts dont il nous est impossible de comprendre la répartition et qui, en dernière analyse, sont tous causés par la foudre d'une part, par le ciment de l'autre. Il faut, selon nous, protéger le câble par un corps conducteur et supprimer le ciment.

S'il ne s'agissait que de protéger la ligne contre les coups de foudre, le remède serait très simple. On sortirait les câbles de la conduite, on les entourerait d'une bande de tôle et on les remettrait dans la conduite.

Mais cette solution incomplète laisse subsister les inconvénients du ciment, et nous considérons comme indispensable la suppression de la ligne en ciment et son remplacement par une ligne en conduites de fonte ou en câble armé.

E. BRYLINSKI,
Ingénieur des télégraphes.

CHRONIQUE.

Identité de structure entre les éclairs et les décharges des machines d'induction.

Note de M. E.-L. Trouvelot, présentée par M. Mascart.

Pendant l'orage qui s'abattit sur Meudon, le 8 mai 1890, vers 6 h. 30 du soir, les éclairs nombreux et très élevés avaient presque tous une direction horizontale; plus tard, quand la pluie eut commencé, il s'en produisit de verticaux, allant de la nue à l'horizon. Ces éclairs horizontaux se distinguaient par une forme arborescente bien décidée dont les nombreuses ramifications allaient, en s'atténuant, se perdre dans la nue. En général, ils se montraient isolément; mais, entre 6 h. 50 et 7 h. 10, on en vit plusieurs qui apparaissaient deux à la fois et, venant de directions opposées, marchaient à la rencontre l'un de l'autre.

Une paire de décharges, qui sous-tendait un angle de plus de 90 degrés, apparut en face de moi, dans des conditions particulièrement favorables pour l'observation. L'apparition fut simultanée : deux points éloignés de la nuée s'allumèrent au même instant et deux masses éblouissantes de lumière se précipitèrent l'une vers l'autre en se divisant en nombreuses branches qui, elles-mêmes, se subdivisaient en branches plus petites. La rencontre qui semblait inévitable n'eut pas lieu cependant; mais il s'en fallut de bien peu, car un espace de moins de 10 degrés séparait l'extrémité des branches opposées.

Ces éclairs, qui venaient de se développer avec assez de lenteur pour permettre de bien en saisir les formes, furent pour moi une révélation. Ce n'étaient plus deux éclairs que j'avais sous les yeux, mais deux étincelles électriques, absolument semblables, sauf la grandeur, aux étincelles des machines d'induction qu'une longue étude m'a rendues tellement familières qu'il me suffit d'un coup d'œil pour en reconnaître le caractère.

Dans ces formes arborescentes, je reconnus avec certitude que celle qui était au nord sous le vent, et dont les branches étaient sinueuses et ondulées, avait le type caractéristique des décharges du pôle positif des machines d'induction; tandis que celle qui était au sud, du côté du vent, et dont les branches zigzaguées subissaient de brusques déviations à angle droit, avait le type des décharges du pôle négatif.

L'observation me paraît concluante : elle montre que, dans certains orages que j'appellerai *orages secs*, les décharges électriques nommées *éclairs* se conduisent à peu près comme celles de nos machines sur les corps peu conducteurs et ont, à peu près, la même structure. Quand bien même il resterait des doutes sur les formes caractéristiques que j'ai observées, le fait même que deux éclairs ramifiés s'avancent à la rencontre l'un de l'autre et s'approchent presque à se toucher, suffit pour prouver que les électricités qui les avaient provoqués ne pouvaient être que de noms contraires.

Pendant cette soirée, je n'ai pu observer que fort imparfaitement, à cause de sa grande distance, l'éclair fulgurant qui unit la nue à la nue, ou la nue à la terre par un trait de feu. Cependant, par analogie, comme par ce que j'ai pu voir depuis, aussi bien que par l'examen de nombreuses photographies d'éclairs, il ne me paraît pas douteux que ce genre d'éclair soit l'équivalent des décharges des pôles opposés des machines, quand elles se trouvent réunies par une brillante étincelle...

De ces observations, il résulte : 1° que l'éclair arborescent électrise la nue en se déchargeant sur elle, comme les décharges des machines électrisent la plaque sensible; 2° qu'il peut descendre, monter, aller horizontalement ou obliquement, en un mot, qu'il peut voyager dans toutes les directions; 3° qu'il varie de forme selon que l'orage est sec ou mouillé, et est plus compliqué dans le premier cas. Enfin, la forme arborescente et compliquée de l'éclair ne se faisant pas sur un plan, mais à des distances variables, explique le bruit caractéristique du tonnerre (*).

(*Comptes rendus*, 29 septembre 1890.)

(*) Des photographies des décharges directes de l'électricité de la nue

sur la couche sensible pourraient être d'une grande utilité pour l'étude de la foudre. Nous avons déjà fait quelques tentatives dans cette voie, mais sans succès, avec un ballon captif qui avait été gracieusement mis à notre disposition par M. le commandant Renard que nous sommes très heureux de pouvoir remercier ici.

Des expériences de ce genre auraient sans doute plus de chances de réussite, si elles étaient faites sur les stations élevées du globe.

Sur les mesures d'isolement des conducteurs souterrains.

Par M. C. Grawinkel.

(Communiqué par le bureau de l'ingénieur en chef des télégraphes de l'Empire d'Allemagne.)

Depuis leur pose, les câbles (*) régionaux de l'administration des télégraphes de l'Empire ont été soumis à des observations électriques régulières et précises.

Conformément à un plan réglé par l'administration, 18 bureaux, munis d'un matériel répondant à leur objet, ont à mesurer à des moments déterminés les câbles qui y aboutissent, et à fournir les résultats de leurs opérations sous forme de tableaux. Le bureau de l'ingénieur en chef est chargé des mesures sur les câbles de certaines des lignes qui arrivent à Berlin.

Ces observations régulières, continuées pendant une série d'années, ont fourni un précieux ensemble de documents sur la manière dont les câbles se comportent; elles ont de plus conduit à des conclusions dignes de remarque sur les mesures elles-mêmes. Le but de cette communication est de faire connaître brièvement les résultats de ces observations, collationnées par le bureau de l'ingénieur en chef.

Les mesures prises se rapportent à la résistance de l'âme en cuivre et à celle de l'enveloppe isolante, ainsi qu'à la capacité des câbles. Celles qui concernent la résistance de l'âme ne donnent lieu à aucune remarque particulière. Les mesures de charge indiquent des variations irrégulières de la capacité. En supposant que la constante de diélectricité de l'enveloppe ne

(*) Câbles souterrains.



subisse aucune variation (ce qui est possible) ces irrégularités pouvaient être attribuées aux erreurs d'observations faciles à commettre dans les mesures de charge.

La résistance de l'âme en cuivre et la capacité n'ont, d'ailleurs, que relativement peu d'importance pour l'appréciation de l'état d'un câble fabriqué et posé en vue de conditions déterminées, en comparaison de la résistance d'isolement.

C'est donc sur la détermination régulière de la mesure de l'isolement, c'est-à-dire de la résistance de la gutta percha de 1 kilomètre de câble, ramenée à la température de 15° C., que se concentre l'intérêt des observations exécutées.

Le câble le plus ancien est celui de Berlin à Halle, sur lequel les mesures ont été prises systématiquement depuis 1877. Les plus récents sont ceux de Berlin à Dantzig, à Thorn, à Posen et à Stettin, dont nous avons les mesures depuis 1882.

Dans les figures qui donnent graphiquement les rapports de l'isolement de quelques câbles, mesuré sûr des conducteurs déterminés, les ordonnées représentent les valeurs moyennes de l'isolement pour chacun des mois de l'année, en millions U. S.; les abscisses représentent les temps.

Les mesures sur les conducteurs 3 et 7, dans le graphique du câble Berlin-Halle, se rapportent aux années 1877 et 1890; celles du câble Berlin-Hambourg, aux années 1879 et 1889. Les courbes sont tracées en réunissant par des lignes droites les valeurs moyennes de chaque mois.

Pour ces câbles, les courbes offrent une grande similitude. La particularité qui en ressort tout d'abord est que l'isolement augmente pendant les mois d'été; elle atteint son maximum aux mois de juin ou de juillet. Des fils 1, 2, 4, 5 et 6, dont les mesures ne sont pas représentées, se sont comportés à cet égard comme le fil 3.

On constate ensuite que dans ces câbles l'isolement du fil 7 a baissé (surtout dans le câble Berlin-Halle), et qu'il s'est rapproché de celui du fil 3, ou même est tombé quelque peu endessous de ce dernier.

Sur un troisième graphique on a représenté les mesures du câble Berlin-Francfort-sur-Oder pour 1881 et 1889.

L'augmentation pendant les mois d'été se confirme dans ceux-ci. Pour le fil 3, l'isolement en 1889 dépasse par places

celui mesuré primitivement; pour le fil 7, au contraire, il y a abaissement.

L'examen de ces tableaux conduit manifestement à classer les câbles en deux catégories au point de vue de leur isolement.

La première, dans laquelle les variations ont été relativement faibles, comprend les câbles les plus anciens : Berlin-Halle posé en 1876, et Berlin-Hambourg (1877).

Dans la seconde, où les variations sont plus importantes, comme dans le câble Berlin-Francfort-sur-Oder (1880).

Avant de tirer de ces courbes les conclusions qu'elles comportent, quelques mots sur la manière dont les mesures ont été prises.

La résistance de l'âme en cuivre de chaque conducteur a été prise avec la plus grande exactitude possible au moyen d'un pont de Wheatstone. Par le facteur de réduction résultant de la résistance normale connue (à 15° C.) et de la résistance mesurée, on a la température que le câble possédait pendant la mesure. La température ainsi trouvée permet à son tour de réduire la résistance d'isolement, mesurée à la température normale de 15°, c'est-à-dire de déterminer l'isolement. On s'est, à cet effet, servi d'une table qui donne pour la gutta-percha les modifications du facteur de réduction aux différentes températures, de demi-degré en demi-degré. Entrons dans plus de détails. Dans la méthode de mesure par le pont, lorsqu'il s'agit de câbles de grande longueur, la mesure ne peut donner qu'une résistance un peu moindre que la résistance réelle, parce que des passages de courant d'une branche à l'autre du pont ont lieu en un nombre infini de points. Bien que la somme de ces passages ne représente qu'une faible valeur, elle peut avoir quelque importance dans le calcul de la température.

Mais il faut attacher plus d'importance à la circonstance qu'un câble de grande longueur ne peut avoir la même température sur toute son étendue. Si l'on réfléchit qu'une ligne régionale traverse des forêts, suit des routes en pays découvert, passe sur et sous des ponts, est quelquefois posée sous le lit de cours d'eau, etc., des inégalités de température doivent exister dans ses différentes parties. La résistance mesurée

d'un conducteur se compose donc de la somme des résistances des parties de température différentes.

On ne peut donc obtenir par le calcul qu'une *température moyenne approximative* du câble, puisque l'on ne peut tenir compte du changement de résistance du cuivre avec la température. Par conséquent, en employant cette température moyenne à la réduction de la résistance d'isolement mesurée, on commet une erreur. De plus, nous admettons, pour le calcul de l'isolement, que l'enveloppe isolante possède dans toute son étendue la température moyenne, ce qui n'est pas le cas, puisque sa température diffère aussi dans les différentes parties de la ligne.

Pour faire ressortir l'erreur commise par un exemple simple, supposons un câble divisé en deux longueurs égales possédant respectivement les températures t^1 et t^2, dont l'une est supérieure et l'autre inférieure du même nombre de degrés à 15°. D'après la méthode de calcul indiquée plus haut, la température moyenne du câble sera 15°.

Si la résistance d'isolement du câble entier à 15° est w, la résistance de chaque moitié sera $2\,w$. A la température de t° en plus, la résistance de l'une des moitiés est

$$2\,wa^t$$

et celle de l'autre moitié

$$2\,wa^{-t}$$

valeurs dans lesquels a est un coefficient égal à 0,876.

Si les deux résistances étaient considérées comme intercalées parallèlement, on aurait pour la résistance totale des deux moitiés :

$$\frac{4\,w^2}{2\,w(a^t + a^{-t})} = \frac{2\,w}{a^t + a^{-t}}$$

et le rapport des deux résistances

$$w : \frac{2\,w}{a^t + a^{-t}}$$

serait égal à 1. Mais ce rapport n'est pas égal à 1 ; il est de

$$\frac{a^t + a^{-t}}{2} - 1$$

plus grand que 1.

Si l'on développe le numérateur de cette fraction en séries, on a, en désignant par ln le logarithme naturel :

$$a^t = 1 + \frac{t\ln a}{1} + \frac{(t\ln a)^2}{1.} + \frac{(t\ln a)^3}{1.2.3} + \frac{(t\ln a)^4}{1.2.3.4} + \dots$$

$$a^{-t} = 1 - \frac{t\ln a}{1} + \frac{(t\ln a)^2}{1.2} - \frac{(t\ln a)^3}{1.2.3} + \frac{(t\ln a)^4}{1.2.3.4} - \dots$$

$$a^t + a^{-t} = 2 + (t\ln a)^2 + \frac{(t\ln a)^4}{12} + \dots$$

Introduisant cette valeur dans l'expression ci-dessus, il vient :

$$\frac{(t\ln a)^2}{2} + \frac{(t\ln a)^4}{24} + \dots$$

Le logarithme naturel de a est égal à — 0,132. Pour les faibles différences de température, on peut négliger la seconde fraction ; l'erreur résultant de là ne serait que de 0,7 p. 100 pour $t = 5$. On aura alors, pour la valeur des erreurs résultant des différences de températures comprises entre 1° et 5°.

Pour t =	1	2	3	4	5
Erreurs 0/0 =	0,9	3,5	7,8	14,9	22,7

Dans quelles limites peuvent varier les températures des différentes portions d'un câble suivant les différences de sol et de mode de canalisation? On ne possède pas encore de documents suffisants pour répondre à cette question.

Mais on peut faire remarquer que les températures calculées au moyen de mesures de résistance de l'âme en cuivre varient dans d'autres limites que celles qu'ont indiquées des observations directes faites en quelques endroits. Le rapport annuel de la station météorologique d'Eberswalde pour 1886 constate, par exemple, qu'à la profondeur de 0m,90 (les câbles sont posés à 1 mètre de profondeur moyenne), la température la plus basse, a été de — 0°,1 C au milieu du mois de mars, et la plus haute de 17°,8 C, le 5 septembre; or, les mesures prises sur le câble de Berlin à Francfort-sur-Oder ont donné — 1°,6 C le 12 mars et 19°,8 C le 18 septembre.

Quoi qu'il en soit, les influences exposées plus haut doivent agir également sur tous les câbles régionaux; elles ne peuvent donc expliquer les causes des différences considérables

que l'on remarque dans la manière dont se sont comportées les deux classes de câbles.

Si les propriétés de la gutta-percha restaient invariables, les courbes des graphiques représentant les mesures d'isolement se réduiraient à des droites. Celles des câbles de la première classe ne s'écartant que relativement peu de la ligne droite, il faut admettre qu'il existe dans les câbles de la seconde classe une cause toute particulière qui fait varier l'isolement, et l'on ne peut chercher cette cause que dans les propriétés de la gutta-percha employée à leur fabrication. Des qualités différentes de gutta-percha ne possèdent pas la même résistance d'isolement; il est donc extrêmement probable qu'il ne convient pas d'employer la même formule pour le calcul de l'isolement de tous les câbles. Le nombre a, que nous avons pris égal à 0,876 dans l'exemple donné plus haut, doit différer pour chaque qualité de gutta-percha.

Les données des tables en usage pour la réduction de la résistance d'isolement de la gutta-percha proviennent d'observations faites en Angleterre à l'époque où furent posés les premiers câbles revêtus de cette matière. A la suite de l'énorme augmentation qui s'est produite dans la demande de gutta-percha, justement pendant les années dans lesquelles le réseau allemand a été posé, il est indubitable que sa qualité a baissé. On ne pourrait le démontrer avec précision quant à présent, vu les très grandes difficultés que présente la détermination du pouvoir isolant de la gutta-percha à différentes températures; mais il est impossible d'assigner une autre signification aux courbes.

Il nous reste à relever les deux particularités communes à toutes les courbes.

1° La mesure de l'isolement s'élève régulièrement pendant les mois d'été. Ce fait qui ne peut être attribué à des erreurs d'observation doit avoir sa cause dans la dessiccation du sol et des câbles;

2° La mesure de l'isolement du conducteur 7 était en baisse accentuée la dernière année, comparativement aux premières. Ce conducteur, qui est entouré des six autres, est celui qui possède la plus haute résistance dans tous les câbles. L'abaissement de sa résistance ne peut provenir que de ce que l'hu-

midité pénètre, avec le temps, les tresses qui remplissent les interstices des torons, diminuant l'excellence de la position du conducteur 7. L'isolement de ce conducteur finit ainsi par se rapprocher de celui des autres.

On voit par tout ceci de quelles difficultés sont entourées les observations sur les câbles terrestres. Ces difficultés sont beaucoup moindres pour les câbles sous-marins, dont les différentes parties ne sont pas exposées à de si grandes variations de température, et dans lesquels la résistance éprouvée par le courant à passer d'un fil dans le milieu ambiant ne se modifie guère. Aussi ne faudrait-il pas considérer les mesures recueillies jusqu'ici comme suffisantes soit pour affirmer que les enveloppes insolantes ont perdu de leurs qualités, soit qu'elles les ont entièrement conservées. Pour se former un jugement il manque une base qui permette de réduire la mesure d'isolement à la températurs normale avec plus de sûreté qu'on ne l'a fait jusqu'ici.

(Société électrotechnique de Berlin (27 mai 1890.)
Traduction de la *Revue internationale de l'électricité.*

Note sur des éclairs allant à la rencontre l'un de l'autre.

Par M. A. Trécul.

M. Trouvelot a fait à l'Académie, le 29 septembre (*), une communication fort intéressante. Il décrit des éclairs très singuliers qu'il observa pendant un orage du 8 mai 1890. « Parmi ces éclairs, il y en avait d'horizontaux et de verticaux, allant de la nue à l'horizon. Ceux qui étaient horizontaux se distinguaient par une forme arborescente bien décidée. En général, ils se montraient isolément; mais plusieurs, qui apparaissaient deux à la fois, venaient de directions opposées et marchaient à l'encontre l'un de l'autre. »

« Une paire de décharges lui apparut dans des conditions particulièrement favorables pour l'observation. L'apparition

(*) Voir *Annales télégraphiques*, 1891, p. 273.



fut simultanée : deux points de la nuée s'allumèrent au même instant, et deux masses éblouissantes de lumière se précipitèrent l'une vers l'autre en se divisant en nombreuses branches qui, elles-mêmes, se subdivisaient en branches plus petites. La rencontre, qui semblait inévitable, n'eut pas lieu cependant. »

M. Trouvelot assimile ces éclairs à « deux étincelles électriques, absolument semblables sauf la grandeur, aux étincelles des machines d'induction. »

Je demande à l'Académie la permission de lui rappeler que, il y a dix ans, je lui communiquai une observation dont le résultat principal a beaucoup d'analogie avec celui de M. Trouvelot, quoique les circonstances dans lesquelles il fut obtenu fussent bien différentes.

C'était pendant l'orage du 19 août 1880; de petites colonnes lumineuses semblaient envelopper quelques-uns des paratonnerres de l'Entrepôt des vins, que, toutefois, je ne distinguais pas, la nuit commençant. Plusieurs de ces colonnettes s'épanouissaient, au-dessus des paratonnerres, en magnifiques éclairs à peu près circulaires ou obovés. Ce n'est pas d'eux que je veux parler. Mais, à deux reprises différentes « je vis deux de ces colonnettes lumineuses s'élevant simultanément et parallèlement, à une distance que je jugeai égale à celle qui sépare deux paratonnerres voisins. A une certaine hauteur qui ne devait guère dépasser celle des paratonnerres, elles se précipitaient l'une vers l'autre, exactement à angle droit. Elles étaient alors terminées en pointe, et s'éteignaient sans déflagration et sans bruit, avant de s'être réunies ». (*Comptes rendus*, t. XCI, p. 408.)

Tel est le fait que je publiai alors dans toute sa simplicité, sans l'accompagner d'aucune réflexion théorique, pensant que sa seule indication en disait assez. Ne mérite-t-il pas d'être rappelé et rapproché de ces éclairs ramifiés marchant l'un vers l'autre, que M. Trouvelot assimile à des étincelles de machines d'induction. Certes, les pointes de mes deux paratonnerres peuvent être considérées, sans aucune exagération, comme les pôles d'une telle machine, et mes deux colonnettes lumineuses, courbées à angle droit, occupant chacune une grande partie de l'intervalle qui sépare deux paratonnerres,

peuvent à bon droit être regardées comme des étincelles électriques *simples* et gigantesques, tout aussi bien au moins que les éclairs *ramifiés plusieurs fois* de M. Trouvelot.

Je n'ai pour but dans cette note que de rappeler un fait que l'observation de M. Trouvelot, sous une autre forme, vient confirmer.

(*Comptes rendus*, 20 octobre 1890.)

La soudure électrique.

Par M. le professeur Elihù Thomson.

Les opérations dont traite cette note sont celles dans lesquelles l'effet calorifique des courants électriques qui traversent un conducteur métallique solide porte graduellement le métal à la température nécessaire pour le travailler. Quand c'est des métaux aisément fusibles qu'il s'agit, cette température est très inférieure à la chaleur rouge; elle n'a pas pour conséquence les effets lumineux qui se produisent avec les métaux qui ne se ramollissent et ne rentrent en fusion que plus difficilement.

C'est ici le lieu de rectifier l'idée assez répandue que c'est la solution de continuité ou l'exiguïté du contact entre les deux pièces métalliques qui cause l'élévation de température dans la soudure électrique. Il est évident que l'exiguité des surfaces en contact accélère l'échauffement au joint; mais il est de fait qu'une barre solide, placée entre les mâchoires d'une machine à souder, s'échauffe à une très haute température. Cet effet est d'ailleurs appliqué dans la pratique actuelle pour poser des colliers sur des arbres, c'est-à-dire pour les fixer en place, les river pour ainsi dire, après y avoir fait entrer l'arbre, sur lequel ils jouent plus ou moins librement. La cause réelle de la concentration des effets calorifiques sur le joint, ou entre les machoires, est la conductibilité relativement plus grande des autres parties du circuit, lequel est ordinairement composé de conducteurs en cuivre massif, maintenus froids par une circulation d'eau quand il s'agit de gros ouvrages.

En tenant les mâchoires froides, ainsi que le conducteur, on empêche leur conductibilité de diminuer: de là, une accentua-

tion très marquée de l'échauffement aux joints, et, par conséquent, une économie considérable de l'énergie électrique nécessaire à l'opération.

L'appareil employé primitivement par l'auteur consistait en une dynamo, à courants alternatifs, alimentant l'enroulement primaire d'une bobine d'induction ou transformateur sous un potentiel relativement élevé; le circuit secondaire était assez court et d'une section assez forte pour fournir des courants n'excédant pas 2 ou 3 volts, mais d'une très grande intensité. Les machoires du circuit étaient attachées aux bornes secondaires. Ce premier type d'appareil s'est conservé, et beaucoup de machines actuelles sont construites d'après son principe; l'enroulement secondaire ne fait qu'un seul tour. Les autres formes d'appareils, tels que les dynamos construites pour produire des courants alternatifs passant directement de l'armature aux mâchoires, n'ont qu'un emploi restreint. Comme les courants continus se prêtent parfaitement à l'opération, on n'a pas construit d'appareils spéciaux pour leur emploi. Les courants d'accumulateurs conviennent très bien; seulement les batteries doivent être conditionnées pour résister à une décharge très rapide; sinon, elles occasionneraient beaucoup d'embarras et de difficultés.

Que l'on emploie des courants continus ou des courants alternatifs, les résultats pratiques ne diffèrent que peu, bien que la discussion de la note de sir Frédérick Bramwell ait fait ressortir quelques différences théoriques. C'est ainsi qu'on a montré que dans les conducteurs de grande section, les courants alternatifs tendent à suivre la surface du conducteur, ou à s'écouler dans la partie la plus éloignée de son centre. Cette tendance existe indubitablement; mais le degré auquel elle peut se développer dépend de la chute du potentiel dans une longueur donnée du conducteur, élément dont on semble avoir oublié de tenir compte dans la plupart des discussions sur cet intéressant sujet. En d'autres termes, si la différence du potentiel est, par exemple, de 2 volts par deux pouces de longueur de la barre qu'on forge ou qu'on soude, la densité du courant sera considérable même au centre de la section de la barre, bien qu'elle soit évidemment plus grande encore vers la surface. Mais il faut précisément que l'effet calorique soit plus grand vers l'ex-

térieur, en raison du rayonnement émis par la surface. Le résultat peut très bien être qu'en réalité la température soit uniforme dans toute la section de la barre : les conditions d'opération peuvent évidemment être choisies de manière à assurer ce résultat.

Mais quand on soude deux barres bout à bout, il arrive souvent que leurs extrémités sont arrondies, et qu'elles ne se touchent que par le centre au début de l'opération. En pareil cas, l'échauffement commence par le centre, que le courant soit continu ou alternatif. Il faut ici mentionner un fait curieux. On a remarqué que la distribution du courant alternatif peut être déterminée facilement au moyen de l'augmentation ou de la diminution de la self-induction en différents points de la section de la barre par la proximité de masses de fer magnétisable.

La manière dont le cuivre se comporte dans la soudure au moyen du courant électrique est à noter. Ce métal possède une très haute conductibilité calorifique et électrique. Naturellement, pour le souder par l'électricité, il faut un courant d'une intensité beaucoup plus grande, à section égale, que pour les métaux de conductibilité moindre. La chaleur développée s'échappe rapidement par convexion, en même temps que la faible résistance du métal au courant exige qu'on donne une grande force à celui-ci pour que l'objet s'échauffe suffisamment. Mais cette nécessité se trouve compensée en grande partie par le fait que le cuivre ne demande qu'un très faible potentiel; il suffit d'une force électromotrice de moins de 1 volt à travers le joint. La consommation d'énergie se mesurant par le produit de l'intensité par la force électromotrice, multiplié par le temps, on voit que si une soudure de cuivre est faite en peu de temps, les pertes par convexion et par rayonnement du joint peuvent être limitées à une fraction modérée du total de l'énergie.

Une particularité du procédé de soudure électrique le rend propre à former des joints, même si les métaux étaient recouverts d'une couche d'oxydes infusibles à la température de fusion des métaux. C'est la force expulsive qui repousse le métal vers le dehors autour du joint, et grâce à laquelle les surfaces mises en contact à la température de fusion sont

inoxydées et propres. Ce fait explique mieux qu'aucun autre que le procédé est applicable universellement aux métaux et aux alliages.

Un point important à signaler à cet égard est la facilité avec laquelle les variétés d'acier doux se laissent travailler dans la soudure électrique. Ceci donne la possibilité d'utiliser la supériorité en force de l'acier sur le fer puddlé et permet l'usage, pour une foule d'emplois, d'une matière moins chère et en quantité moindre pour une force donnée. Cette remarque trouve particulièrement son application dans la fabrication des chaînes, dans laquelle la substitution des bas aciers au fer assure le double avantage prémentionné, indépendamment des autres avantages de la soudure électrique sur les procédés habituels. Aussi le développement du matériel de fabrication des chaînes a-t-il été l'objet d'attentions considérables; on a même construit une petite machine qui déroule une vergette d'un tambour et qui la transforme en une chaîne dont les anneaux sont soudés électriquement; l'opération est absolument automatique.

Un fait curieux est que deux ou plusieurs soudures peuvent se faire simultanément et parallèlement. Cette propriété est utilisée dans la fabrication des chaînes, dans laquelle deux soudures, — une de chaque côté d'un chaînon, — se font en même temps. Il n'existe pas encore de machines en usage pour la fabrication industrielle des chaînes par la soudure électrique ; mais ce pas sera fait dans un avenir prochain. Une puissante machine spéciale pour cet objet sera achevée sous peu.

Avant de terminer cette courte revue de quelques particularités du travail électrique des métaux, quelques mots de l'économie dans ce travail, et de la force qu'il nécessite. Les conditions varient si largement, qu'on ne peut établir de règle générale; mais si l'on considère que les gaz perdus dans les opérations métallurgiques effectuées à de hautes températures sont encore assez chauds pour faire de la vapeur, et que le courant électrique donne la faculté d'engendrer une haute température au moyen de la force développée par la vapeur faite à une température relativement peu élevée, il est facile de voir que, dans beaucoup de cas, on dispose déjà de la force

nécessaire aux gros travaux de soudure, exactement de même qu'on trouve dans les gaz perdus des feux de forge la force employée pour le martelage des grosses pièces. D'autre part, grâce au procédé électrique, les grandes forces hydrauliques peuvent être converties en travail des métaux, et les lieux où le combustible est cher, mais la force hydraulique abondante peuvent désormais prendre une place importante dans la production de certaines variétés d'objets forgés.

Dans le cas où l'on doit produire la vapeur expressément pour les opérations de soudure et de forge par l'électricité, la localisation de l'échauffement exactement au point voulu, en regard de la nécessité de chauffer une longueur ou une masse considérable de métal et de la perte qui s'ensuit, peut compenser les grandes pertes de calorique inséparables de la production de la force par la vapeur. Quand on chauffe un métal au feu de forge, en effet, la perte de chaleur augmente à mesure que le métal s'échauffe, la différence de température entre le corps échauffant et le corps échauffé devenant de plus en plus faible. Dans le procédé électrique, c'est le contraire qui a lieu, à part l'augmentation graduelle de la perte par rayonnement et par convexion. En effet, pendant l'échauffement, la température croissante du métal, dans le plus grand nombre des cas, augmente considérablement sa résistance; de là, économie croissante dans la dépense d'électricité, ou bien accroissement graduel de la proportion de l'énergie électrique convertie en chaleur au profit de l'opération.

Le caractère automatique, l'étendue des usages auxquels il peut s'adapter, la bonne exécution de l'ouvrage et sa propreté, la faculté de régler exactement la température, l'uniformité des résultats fait du procédé électrique de soudure et de travail des métaux un perfectionnement marqué sur l'art d'autrefois, et l'appelle à de vastes applications.

(*Iron and steel Institute.*)

Traduction de la *Revue internationale de l'électricité.*

BIBLIOGRAPHIE

Statistique relative aux services postaux et télégraphiques en Italie (1889-1890).

Le Ministère des postes et des télégraphes, en Italie, vient de publier une intéressante statistique sur le fonctionnement des services postaux et télégraphiques pendant la période 1889-1890 et de la caisse d'épargne postale en 1889. L'étendue de ce document ne nous permettant point d'y faire des emprunts, nous nous contentons d'en signaler l'apparition.

Leçons sur l'électricité, par M. ÉRIC GÉRARD. (2e édition.)

Nous avons signalé, il y a moins d'un an (*), la publication des « *Leçons sur l'électricité*, professées à l'Institut électrotechnique de Liège par M. Éric Gérard ». La première édition de cet ouvrage ayant été rapidement épuisée, l'auteur vient d'en faire paraître une deuxième, qui contient des additions très nombreuses : description d'installations récentes, solutions pratiques de problèmes industriels, etc. Nous sommes heureux de constater le succès obtenu par M. Gérard, et qui est dû à la perfection de son œuvre autant qu'à l'autorité scientifique qu'il a acquise depuis plusieurs années.

(*) 1890, p. 383, 565

Gérant · Ve DUNOD. — PARIS. — IMP. C. MARPON ET E. FLAMMARION, RUE RACINE, 26

ANNALES TÉLÉGRAPHIQUES

Année 1891 Juillet-Août

SUR L'INTENSITÉ

ET

LA QUALITÉ DES EFFETS TÉLÉPHONIQUES

Les effets produits par un téléphone quelconque peuvent être considérés à deux points de vue : 1° au point de vue de leur intensité ; 2° au point de vue de leur qualité.

INTENSITÉ DES EFFETS TÉLÉPHONIQUES.

I. — Il résulte des recherches que j'ai faites sur cette première question (*) que, pour tout téléphone de champ magnétique donné, et dont le diamètre du diaphragme reste constant, il y a une épaisseur de ce diaphragme qui donne un maximum d'intensité, quelle que soit la nature de ce diaphragme métallique, ce

(*) Voir les *Comptes rendus de l'Académie des sciences*, 1885, 1887, août 1889; *Annales télégraphiques*, 1886 et 1889.



maximum étant d'ailleurs beaucoup plus grand pour le fer que pour les autres métaux.

II. *Influence du diamètre du diaphragme.* — On peut, étant connue l'épaisseur du diaphragme qui donne le maximum d'effet pour un champ donné, faire varier le *diamètre* de ce diaphragme.

On constate alors également l'existence d'un diamètre qui produit une intensité maxima.

Ce résultat tient à deux causes : 1° Le champ magnétique du noyau aimanté, concentré par le diaphragme, ne produit un effet sensible que dans une région limitée ; dès lors, en augmentant le diamètre, on augmente la partie *inerte*, au point de vue de l'induction, et non sa partie *efficacement* induite. 2° En augmentant le diamètre progressivement, on augmente ainsi, il est vrai, sa flexibilité et on favorise la production de mouvements transversaux; mais, d'autre part, on augmente aussi sa masse et par suite la difficulté de produire ces mouvements, de variations nécessairement limitées et toujours très petites, du champ magnétique.

Il en résulte d'ailleurs, et l'expérience le confirme, que le diamètre qui produit le maximum d'effet doit être d'autant plus grand que le champ magnétique est plus intense. On explique ainsi comment des téléphones à grands diamètres et à champs magnétiques relativement intenses, comme les téléphones Gower, Pollard..... ne produisent pas à la réception d'effets plus intenses que des téléphones à champs plus faibles mais à diamètres réduits comme les téléphones d'Arsonval, Ader, Aubry.

Il y a donc lieu, si l'on veut obtenir avec un téléphone, le maximum d'effet, de combiner convenable-

ment l'épaisseur et le diamètre du diaphragme, suivant l'intensité du champ magnétique dont on dispose.

III. *Influence de l'intensité du champ.* — Cette influence est bien loin d'être aussi grande qu'on pourrait le croire au premier abord.

J'ai fait à ce sujet des expériences variées en aimantant les noyaux en fer doux des bobines induites, à l'aide d'un électro-aimant, au lieu de les fixer comme on le fait d'habitude sur les pôles d'un aimant. Il est facile ainsi en faisant varier l'intensité du courant qui anime l'électro-aimant, de produire des champs magnétiques de grandeurs différentes.

Or, en augmentant graduellement l'intensité du champ, toutes choses égales d'ailleurs, on arrive rapidement à une limite à partir de laquelle l'effet du téléphone ne varie plus sensiblement. Cela tient d'abord à ce que la masse de fer du diaphragme devient rapidement incapable d'absorber dans son intérieur toutes les lignes de force du champ; une partie de plus en plus grande de celles-ci traverse le diaphragme, ainsi qu'on s'en aperçoit en y jetant de la limaille de fer. Dès lors, une portion de plus en plus grande du champ reste sans utilité sensible pour la production des effets téléphoniques.

En second lieu, il faut remarquer que ces effets sont dus en définitive à des déformations mécaniques des lignes de force du champ, et que celles-ci résistent d'autant plus à la déformation due à l'énergie des ondes provenant de la voix que le champ magnétique est plus intense.

Or, si on entend par effets téléphoniques ceux qui consistent à reproduire, à distance, la parole articulée (et c'est jusqu'à présent le principal usage du télé-

phone), la puissance de la voix humaine étant naturellement bornée, on conçoit qu'à partir d'une certaine limite son action soit de plus en plus faible sur un champ magnétique de plus en plus énergique. Ceci s'applique également bien, et à plus forte raison, au téléphone récepteur, où l'énergie de la voix est remplacée par celle des ondes électriques que le transmetteur a produits.

On s'explique ainsi l'insuccès de beaucoup de tentatives faites pour augmenter l'intensité des effets d'un téléphone, en augmentant l'énergie de son champ magnétique, par la multiplication des pôles d'aimant ou autrement, et comment, en définitive, on s'est décidé dans la pratique à ne se servir que de téléphones de petites dimensions (de 5 à 7 ou 8 centimètres de diamètre) dont les aimants ont des champs magnétiques relativement faibles : la nécessité de les rendre aisément maniables aurait d'ailleurs conduit forcément à une solution de ce genre, quand même elle n'aurait pas été satisfaisante et justifiable au point de vue théorique. (Je reviendrai sur ce point tout à l'heure pour répondre à une objection faite à ma théorie du téléphone.)

La première colonne du tableau suivant donne une idée de la grandeur relative de l'intensité des champs magnétiques de divers téléphones. Cette intensité a été mesurée par une méthode qui consiste à se rapprocher le plus possible dans cette mesure du mode d'action pratique de ces champs magnétiques.

Pour cela, on remplace dans chaque téléphone le diaphragme en fer par un diaphragme en carton à peu près de même épaisseur ; on produit graduellement avec de la limaille de fer la figure magnétique du champ en renversant de temps en temps l'appareil de haut en

bas, avec précaution, de façon à ne conserver ainsi que la limaille retenue par des forces magnétiques au moins égales à celle de la pesanteur; on pèse enfin avec soin la limaille qui, dans ces conditions, reste attachée au diaphragme. On peut admettre que le rapport de ces poids représente les rapports des intensités des champs magnétiques correspondants.

On a indiqué dans une seconde colonne les épaisseurs des diaphragmes et, dans la troisième, le diamètre de la partie du diaphragme véritablement utile au point de vue de l'induction.

			mm.		mm.
Gower	4,44	Pollard	0,71	Pollard	100
Pollard	3,365	d'Arsonval (g^d modèle)	0,626	Gower	90
d'Arsonval (g^d modèle)	2,84	Gower	0,572	Colson	90
d'Arsonval (p^t modèle)	2,11	Colson	0,446	d'Arsonval (g^d modèle)	90
Ader	1,16	Ader	0,327	Ochorowickz	60
Aubry	0,90	d'Arsonval (p^t modèle)	0,307	d'Arsonval (p^t modèle)	56
Ochorowickz	0,72	Ochorowickz	0,294	Aubry	56
Colson	0,635	Aubry	0,26	Ader	46

On voit là : des intensités de champs variant de 1 à 7, des épaisseurs de diaphragmes variant de 1 à 3, des diamètres variant du simple au double, et l'on trouve, à la réception, que ces instruments sont à peu près équivalents en intensité. Preuve manifeste que cette intensité résulte d'une combinaison convenable des trois éléments ci-dessus et de celui qu'on va examiner maintenant.

IV. *Influence de la forme du champ et des bobines induites.* — On peut dire qu'à ce sujet toutes les formes possibles d'aimants et de bobines compatibles avec une fabrication facile ont été déjà essayées. Mais il est évident que, théoriquement, la forme dans laquelle les lignes de force sont perpendiculaires à la direction du fil des bobines est la meilleure toutes choses égales

d'ailleurs. C'est ce qui a été reconnu depuis longtemps, en particulier par M. d'Arsonval, dont le téléphone est peut-être celui qui réalise le plus complètement cette condition. — Mes propres expériences à ce sujet ne font que confirmer les conclusions de M. d'Arsonval.

De plus, la variation de la forme du champ sous l'action de la voix dans les transmetteurs et des courants ondulatoires dans les récepteurs peut être facilitée par sa plus ou moins grande mobilité, et celle-ci peut être augmentée jusqu'à un certain point par la mobilité de l'aimant et des noyaux des bobines : c'est le résultat avantageux obtenu récemment par M. Aubry en fixant cet aimant à une plaque susceptible de vibrer légèrement en même temps que le diaphragme, — mais il y a là aussi une limite qu'il ne faut pas dépasser et que l'expérience indique.

En résumé, on voit que, lorsqu'il s'agit de la transmission et surtout de la réception téléphoniques de la parole articulée, en faisant varier les éléments principaux des téléphones en vue d'augmenter l'intensité, on arrive, pour la plupart des effets, à des conditions limites donnant des maximum d'intensité : de telle sorte qu'il paraît peu probable qu'on arrive plus tard par de nouvelles combinaisons entre les éléments *actuels* de ces appareils, à des résultats notablement supérieurs à ceux qu'on a aujourd'hui, et qui s'obtiennent en réalisant principalement les quatre conditions suivantes, dont les deux premières étaient déjà connues :

1° Favoriser la mobilité des lignes de force du champ;

2° Faire traverser les lignes de force par le plus grand nombre possible de fils des bobines et perpendiculairement à leur direction;

3° Diminuer l'épaisseur de la membrane jusqu'à celle qui donne le maximum pour le champ magnétique dont on dispose, c'est-à-dire celle qui est juste suffisante pour absorber le plus grand nombre de lignes de force existant dans son voisinage ;

4° Augmenter le rapport du volume induit efficace de la membrane au volume total, ce qui conduit à diminuer le diamètre jusqu'à une certaine limite.

Enfin je crois pouvoir ajouter que quelques-unes des observations ci-dessus répondent, à ce que je crois, à la seule objection qui ait été faite à la théorie que j'ai donnée des effets téléphoniques, et qui consiste en ce que ces effets sont dus aux mouvements *individuels* ou de *résonnance* des molécules du diaphragme, et que les mouvements *d'ensemble* d'où résultent le son fondamental du diaphragme et ses harmoniques ne servent qu'à altérer la bonne reproduction des inflexions de la parole articulée. L'objection faite est ainsi rappelée par M. Preece dans son livre sur le téléphone, page 40 : « Comment se fait-il que des téléphones multipolaires, c'est-à-dire ceux où le diaphragme vibrant est en présence de plusieurs pôles d'aimant, n'ont pas une supériorité nécessaire sur les téléphones unipolaires? Si toutes les parcelles du diaphragme sont en mouvement, si chacune d'elles reproduit pour sa part, la vibration articulée de la parole, il y a un avantage direct à utiliser tous ces mouvements, à employer toutes ces molécules pour modifier le champ magnétique ; à défaut d'un seul pôle assez large, l'emploi de plusieurs pôles semble indiqué ; et cependant leur emploi ne réussit pas mieux que celui d'un seul pôle. » Les observations qui précèdent (§ III) relatives à l'influence de l'intensité du champ, lèvent complètement cette objection. — On

ajoute encore (même livre, même page) à propos de l'intensité des effets téléphoniques : « Pourquoi plusieurs téléphones recevant en même temps la voix et agissant sur la même ligne ne donnent-ils pas des résultats sensiblement meilleurs qu'un seul ? » Cela tient à ce que l'énergie de cette voix se trouve ainsi divisée en autant de parties qu'il y a de téléphones au lieu d'être concentrée sur un seul, et au défaut de synchronisme inévitable des effets d'induction dans les téléphones simultanément excités.

QUALITÉ DES EFFETS TÉLÉPHONIQUES.

Dans la transmission à distance de la parole articulée qui est le but principal de l'emploi du téléphone, *l'intensité* des effets reçus par l'oreille est fort importante, car un minimum d'intensité est nécessaire pour la perception des sons : mais *la qualité* de ces effets est plus importante encore.

J'entends par là *la netteté* plus ou moins grande avec laquelle tous les éléments de la voix humaine, articulations avec leurs inflexions diverses, voyelles avec leur accent caractéristique, timbre avec ses délicatesses, sont reproduites dans les ondes sonores que le diaphragme du téléphone récepteur transmet à l'air et à l'oreille. — L'altération d'un seul de ces éléments suffit souvent si elle est assez prononcée pour rendre la parole inintelligible, et dès lors, la netteté des effets manquant, leur intensité ne sert à rien.

I. *Altération du timbre.* — J'ai déjà dit et démontré précédemment que la bonne qualité des effets téléphoniques paraissait être en raison inverse de leur intensité : que le plus souvent on n'obtenait celle-ci qu'aux

dépens de celle-là : qu'en particulier l'altération nasillarde du timbre si sensible dans la plupart des téléphones, devait tenir à ce que le plus souvent les mouvements dûs à la production du son fondamental et des harmoniques du diaphrame venaient se superposer aux mouvements individuels des molécules, seuls utiles pour produire les transformations d'énergie d'où résulte la reproduction de la voix. — Or la production de ces harmoniques parasites est favorisée par l'énergie avec laquelle on agit sur la membrane, et, par suite, l'intensité des effets qui en résultent.

Cette première cause qui nuit à la netteté des transmissions téléphoniques peut être complètement détruite ou à peu près.

Si, comme je l'ai dit dans la théorie que j'ai donnée du téléphone, elle est due principalement à l'intervention des sons propres au diaphragme (fondamental et harmoniques) il doit suffire pour corriger ce défaut de prendre un diaphragme dont le son fondamental soit en dehors de l'échelle moyenne des sons émis par la voix humaine dans la parole articulée, échelle qui est celle de la gamme d'indice 4 pour la voix de femme, et d'indice 3 pour la voix d'homme. — En ce cas la voix ne tendra pas à produire le son et les harmoniques du diaphragme, surtout s'ils sont supérieurs à l'ut_5 ; car il faudrait, à cause de la raideur du diaphragme, déployer pour les produire une énergie mécanique supérieure à celle que la voix humaine peut produire, et, à plus forte raison, supérieure à celle des courants ondulatoires qui arrivent au téléphone récepteur.

Pour ne citer que deux cas extrêmes : un diaphragme de 10 centimètres de diamètre et de 1 millimètre d'épaisseur, ou bien de 3 centimètres de dia-

mètre et de $0^{mm},1$ d'épaisseur, satisfont à la condition précédente, le premier à cause de son épaisseur, le second à cause de la petitesse de son diamètre. Et l'expérience prouve, en effet, qu'ajustés à des téléphones appropriés, ces diaphragmes ne produisent pas d'altération sensible du timbre de la voix. Or si on se reporte aux conditions indiquées précédemment (page 294) pour favoriser l'intensité des effets téléphoniques, on voit qu'une telle combinaison peut très bien satisfaire aux conditions susdites, de telle sorte qu'il n'y a pas incompatibilité entre les dispositions qu'il faut adopter pour obtenir d'une part une intensité suffisante, d'autre part une bonne reproduction du timbre de la voix transmise téléphoniquement; il est donc possible, à ce point de vue, d'obtenir à la fois la *bonne qualité* et une *intensité* suffisante des effets produits. La combinaison varie d'ailleurs évidemment avec la nature du téléphone employé.

II. *Altération d'articulations et de voyelles.* — Mais il y a une autre altération que celle du timbre qui se produit dans la plupart des téléphones; certaines articulations, les dentales, sifflantes ou labiales, par exemple d, t, l, s, c..., certaines voyelles et diphtongues, principalement i, e, ei, ui..., sont notablement affaiblies. Il en résulte très souvent une grande fatigue à comprendre le sens exact des paroles reçues, par suite de l'obligation où l'on est de deviner les mots altérés d'après ceux qui les ont précédés; de là une cause permanente d'erreurs. Cet affaiblissement de certaines articulations, voyelles et diphtongues, peut s'expliquer en remarquant que lorsqu'on prononce les consonnes, les voyelles et les diphtongues indiquées plus haut, par suite de la forme que prend alors la cavité buccale, les

ondes sonores émises sont notablement moins énergiques que les autres, et agissent moins fortement sur le diaphragme du téléphone transmetteur; l'onde électrique correspondante arrive au récepteur avec cette faiblesse relative.

L'expérience m'a prouvé que l'inconvénient dont il est question en ce moment s'atténue considérablement quand on fait disparaître, comme on vient de l'indiquer, l'altération nasillarde du timbre toujours accompagnée d'une exagération notable de l'intensité des voyelles et consonnes très sonores o, a, p, m, b, r, k.

III. *Résonnances diverses.* — Enfin un troisième inconvénient se joint et se superpose aux deux précédents pour nuire à la netteté des effets téléphoniques. Il se produit généralement à la réception deux espèces de résonnances désagréables : l'une aiguë, de nature métallique, en quelque sorte, analogue à celle qu'on entend lorsqu'on froisse un fil ou une lame métallique mince; l'autre d'un ton plus grave et souvent aussi intense que le son des paroles reproduites par le téléphone.

La première de ces résonnances tient à la fois à la nature du métal des diaphragmes des téléphones et au mode de production des ondes électriques par induction électro-magnétique. Je crois que c'est un effet longitudinal dû à la variation de forme des lignes de force absorbées à l'intérieur du fer. En tout cas, avec un téléphone récepteur à diaphragme en carton recouvert de limaille de fer, ou avec un téléphone à diaphragme de cuivre ou d'aluminium, dans lequel se produisent principalement des effets d'induction électro-dynamique, la résonnance signalée ne se produit pas sensiblement quand on les compare, à intensité

égale bien entendu, à un téléphone à diaphragme de fer. Ce qui confirme encore cette explication, c'est que cette résonnance très aiguë, comme le son longitudinal d'un fil, disparaît lorsqu'on prend des diaphragmes dont le son fondamental est très élevé par suite de leur épaisseur ou de la petitesse de leur diamètre; soit parce qu'elle est alors tellement aiguë, que son intensité est trop faible pour agir sur l'oreille, soit qu'elle ne se produise pas parce que l'énergie mécanique nécessaire pour la produire est relativement considérable.

La seconde résonnance est celle de la masse d'air renfermée dans la boite même du téléphone. En effet, pour faire disparaître cette sonorité vague dans laquelle s'estompent, en quelque sorte, les inflexions variées du timbre de la voix, il suffit de ne laisser au-dessus du diaphragme qu'une chambre à air très petite, ce qu'on obtient, par exemple, en remplissant de feutre l'intérieur du téléphone.

A part ce dernier inconvénient, qu'on surmonte d'ailleurs si facilement, on voit que les causes d'altération dans la reproduction téléphonique de la parole articulée peuvent être beaucoup atténuées, sinon disparaître complètement; et cela, en somme, par un seul moyen, le même pour toutes, qui consiste à employer des diaphragmes à son fondamental aigu, soient qu'ils aient une grande épaisseur et un grand diamètre, soit un petit diamètre et une faible épaisseur.

De plus dans ces conditions, en même temps qu'on obtient beaucoup de netteté dans la reproduction de la parole, on satisfait aux conditions qui sont nécessaires pour obtenir une *intensité* suffisante dans le téléphone (voir page 294); circonstance très heureuse, car elle

permet d'approcher de la perfection dans la construction d'un instrument aussi délicat qu'il est merveilleux.

APPLICATION DES ÉTUDES PRÉCÉDENTES A LA CONSTRUCTION DE RÉCEPTEURS TÉLÉPHONIQUES LÉGERS DITS « BITÉLÉPHONES ».

Les recherches précédentes ont porté à la fois sur les téléphones considérés comme transmetteurs ou comme récepteurs; mais, quand on veut passer à des applications et construire des appareils fondés sur les résultats obtenus, il y a lieu de distinguer nettement les deux cas.

En effet, bien que le téléphone soit réversible, et qu'il puisse servir à volonté de transmetteur ou de récepteur, il ne faut pas oublier qu'il y a dans le mode d'action, dans l'un et l'autre cas, une différence considérable, car l'énergie des ondes aériennes qui agissent sur le champ magnétique du transmetteur peut être regardée comme énorme par rapport à celle des ondulations électriques qui agissent sur le champ du récepteur. Si donc les deux téléphones récepteur et transmetteur sont identiques, on a là comme deux machines identiques au point de vue géométrique, magnétique et électrique, mais dont le moteur de l'une serait des millions de fois plus énergique que celui de l'autre.

Il est évident que dans ces conditions de fonctionnement l'emploi de deux machines identiques est très mauvais.

Par conséquent, la construction d'un téléphone transmetteur doit être différente de celle d'un récepteur, et

l'emploi simultané de ces instruments exige nécessairement le sacrifice de la réversibilité pratique.

Pour le moment, je ne m'occuperai que de la construction de téléphones récepteurs, c'est-à-dire de téléphones dans lesquels le champ magnétique doit varier sous l'action de courants électriques ondulatoires dont l'énergie est très faible.

Cette construction repose sur les conclusions des recherches précédentes et qui peuvent être ainsi formulées :

Dans un téléphone qui doit servir de récepteur, il est possible d'obtenir à la fois : la *netteté* dans la reproduction des inflexions variées de la parole articulée, et l'*intensité* nécessaire pour tous les usages du téléphone.

Pour cela, il suffit : 1° de donner au diaphragme du téléphone l'épaisseur juste suffisante pour absorber toutes les lignes de force du champ de son aimant ; 2° de diminuer le diamètre jusqu'à ce que le son fondamental et les harmoniques du diaphragme encastré soient plus aigus que ceux de la voix humaine, c'est-à-dire plus aigus que l'ut_5.

On reconnaît, en outre, qu'en satisfaisant à ces deux conditions, on peut obtenir avec des téléphones à champ magnétique très faible des résultats comparables en intensité, et supérieurs en netteté à ceux qu'on obtient avec des appareils à champs beaucoup plus intenses et qui, par conséquent, ont un poids et un volume beaucoup plus considérables.

On conçoit, dès lors, qu'on puisse : d'une part, prendre des aimants très petits à deux branches ou même à une seule, comme ceux des téléphones Bell primitifs, et, par suite, des bobines très petites, ce qui

permet de réduire dans la proportion de 1 à 5, le poids de cette partie du téléphone; d'autre part, réduire, comme on l'a indiquée ci-dessus, l'épaisseur et surtout le diamètre du diaphragme, d'où résulte d'abord une diminution du volume de la boîte où il est encastré, et, secondement, par suite de la minceur de ce diaphragme, la possibilité de l'encastrer solidement tout en remplaçant les boîtes métalliques par des boîtes en ébonite, ce qui diminue encore considérablement le poids total de l'appareil.

Ayant eu besoin d'employer, dans certaines recherches d'électricité, des téléphones pouvant servir de galvanoscopes très sensibles, j'ai songé à utiliser les résultats précédents pour construire un téléphone très léger, pouvant rester fixé aux oreilles pendant des journées entières, sans fatigue pour l'opérateur et laissant les deux mains constamment libres.

I. *Construction des appareils.* — J'ai réalisé plusieurs types d'instruments de ce genre, en employant des téléphones à un ou deux pôles, réunis par un ressort en fil d'acier de 2 millimètres de diamètre, V, comme l'indique la figure ci-contre, qui représente, réduit au quart de sa grandeur, l'un de ces appareils, auxquels j'ai donné le nom de ***Bitéléphone***. (Il est construit par M. de Branville, 25, rue de la Montagne-Sainte-Geneviève, à Paris.)

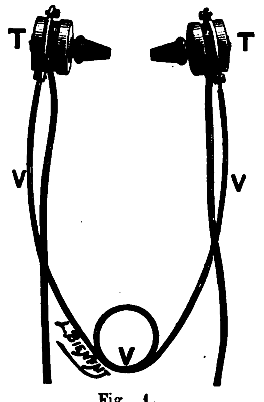


Fig. 1.

La boîte est en ébonite, le couvercle est terminé par des ajutages recouverts d'embouts en caoutchouc *t*, *t*,

qui peuvent être retirés et changés à volonté (chaque opérateur ayant les siens pour son usage personnel), et qui pénètrent à l'intérieur des oreilles par suite d'une faible torsion d'arrière en avant, opérée préalablement sur le ressort. Ils s'appuient ainsi sur le conduit auditif, et une légère pression du ressort V, qui passe sous le menton de l'opérateur, réglée par lui en écartant plus ou moins les deux branches du V, maintient les deux téléphones contre les oreilles. Ceux-ci ne pesant que 50 grammes (alors que les téléphones ordinaires pèsent environ 400 grammes) et ne dépassant pas 3 à 4 centimètres de diamètre, ne produisent pas de fatigue, ni même de gêne, au bout de quelques minutes d'usage.

Le ressort en acier peut servir à relier électriquement deux des quatre bouts des bobines, de sorte qu'il suffit de deux cordons pour relier l'instrument aux appareils pour lesquels il doit servir. Ce ressort peut, d'ailleurs, être aimanté, et contribuer à renforcer ou à maintenir l'aimantation des téléphones. Il peut, par suite, jouer un triple rôle : mécanique, électrique et magnétique.

La *fig.* 1 donne une vue d'ensemble d'un bitéléphone; celui-là est un téléphone minuscule à aimant plat à 2 branches, système Aubry. Voici les éléments comparés à ceux des téléphones mentionnés à la page 293 *Intensité du champ* : 0,155 — *Épaisseur de la membrane* $0^{mm},13$ — *Diamètre utile* 26 millimètres.

Malgré la faiblesse de son champ (7 à 8 fois plus petit que celui du téléphone Ader, 12 ou 13 fois moindre que celui du téléphone d'Arsonval) l'intensité de ses effets est comparable à celle des téléphones usuels;

mais la netteté est supérieure. Ce fait a été établi par des essais sur des lignes souterraines de 50 à 74 kilomètres, sur une ligne téléphonique de 800 kilomètres, sur la ligne nouvelle de Paris à Londres: et cela, quelque soit le transmetteur employé. Il en résulte que ces bitéléphones ont pu être acceptés parmi les appareils dont l'emploi est autorisé par l'état dans les réseaux téléphoniques.

La *fig.* 2 ci-contre représente la coupe d'un des récepteurs d'un bitéléphone à aimant rectiligne du genre Bell avec l'amorce du V qui le relie à l'appareil symétrique : le dessin est en vraie grandeur.

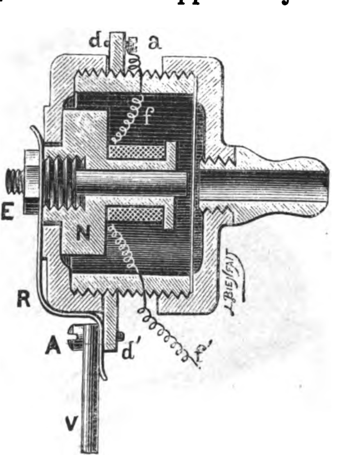


Fig. 2.

La triple fonction du ressort V est ici clairement indiquée.

La fonction *mécanique* résulte de la forme même du ressort qui tend évidemment à exercer une pression.

La fonction *magnétique* tient à ce que le ressort V est relié par une lame d'acier R au noyau aimanté N des électro-aimants, à l'aide de la vis A et de l'écrou E: qu'il soit en fer doux ou en acier aimanté, le ressort V contribue alors à augmenter ou à conserver le magnétisme du noyau N.

Enfin la fonction *électrique* résulte de ce que l'un des bouts *f* du fil de la bobine des électro-aimants est relié au collier métallique *dd'* par la vis *a*, et, par suite, au ressort V par la vis A.

Les dimensions de cet appareil sont à très peu près les mêmes que celles du précédent ; son champ magnétique est encore un peu plus faible ; les résultats qu'il donne sont équivalents.

II. *Applications diverses.* — Quelle que soit la forme, un appareil de ce genre peut être utilisé de di-

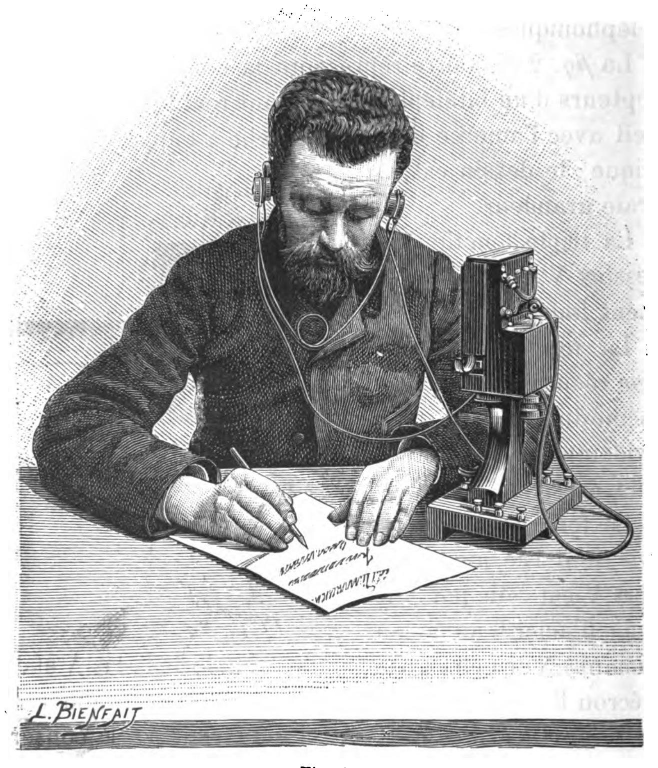


Fig. 3.

verses manières. En général il peut servir à toutes les personnes qui possèdent un poste téléphonique, et plus particulièrement à celles qui ont besoin, soit de prendre des notes pendant qu'ils transmettent ou reçoivent des

messages téléphonés, soit même de les écrire intégralement. La *fig.* 3 indique en ce cas la manière de se servir du bitéléphone disposé sur un microphone transmetteur monté sur socle.

Jusqu'ici ce résultat n'a pu être atteint qu'au moyen de systèmes dits « téléphones à casque », relativement lourds, et qui reposent sur la tête qu'ils enserrent avec un fort ressort. Ils sont, en outre, incommodes, et obligent d'ailleurs les opérateurs à enlever leur chapeau ; avec le bitéléphone au contraire, il n'en est rien, le ressort V passant au-dessous du menton.

L'opérateur peut régler lui-même à volonté la légère pression du ressort VVV (*fig.* 1) en écartant plus ou moins les branches du V.

Comme les conduits auditifs des oreilles servent de point d'appui, les embouts *t*, *t* (*fig.* 4) sontrecouverts de

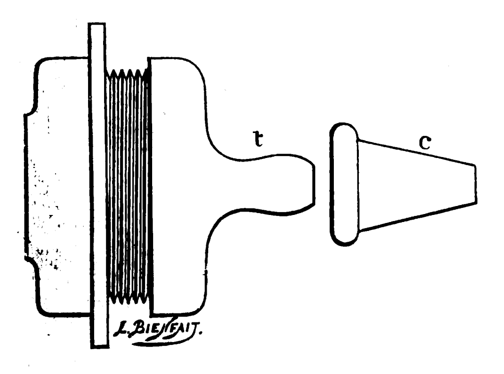


Fig. 4.

pièces coniques mobiles C, en caoutchouc, qui ont pour triple but : 1° d'amortir le frottement de l'appareil contre les oreilles ; 2° de boucher plus hermétiquement les oreilles afin de les mieux isoler des bruits extérieurs ; 3° de rendre ces parties de l'appareil *essentiellement*

personnelles, car ces pièces en caoutchouc s'enlèvent facilement, de sorte que chaque personne peut avoir des pièces de rechange qui lui servent exclusivement.

Il faut remarquer, d'ailleurs, que les branches du V sont légèrement tordues d'arrière en avant, afin que les embouts *t*, au lieu de se faire face, forment un angle obtus, de façon à pénétrer sans difficulté dans les conduits auditifs, qui sont toujours un peu obliques d'arrière en avant.

Outre les personnes désignées ci-dessus, le bitéléphone peut être utilisé par les téléphonistes des bureaux centraux et par les opérateurs chargés de

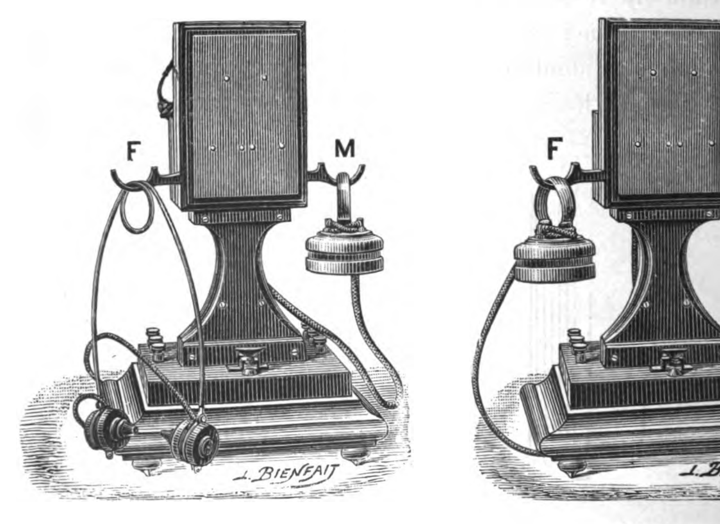


Fig. 5. Fig. 6.

l'échange des messages téléphonés. Le bitéléphone peut encore rendre de précieux services : dans les bureaux télégraphiques, pour la recherche des dérangements électriques ; dans les laboratoires scientifiques,

comme galvanoscopes pour constater le passage d'un courant, et même, pour remplacer le galvanomètre dans certaines mesures électriques, telles que celle des résistances polarisables et autres. En ces cas là, en effet, le téléphone se maintenant automatiquement aux oreilles, les deux mains restent libres pour effectuer les opérations que comportent les recherches qu'on exécute.

III. *Installation.* — Le bitéléphone peut s'adapter à tous les microphones existants qu'ils soient sur socle (*fig.* 6) ou appliqués aux murs (*fig.* 7), ou en forme de pupitre.

Il pourra être monté sur un microphone quelconque, soit seul, soit avec un téléphone ordinaire, soit avec deux téléphones ordinaires.

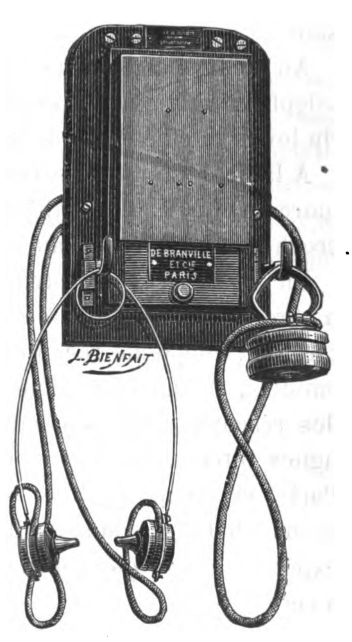


Fig. 7.

1er *Cas.* — Lorsque le bitéléphone sera monté *seul* sur le microphone, on lui adjoindra un contrepoids pour faire basculer le levier mobile M.

2e *Cas.* — Lorsque le bitéléphone sera monté sur le microphone avec un téléphone ordinaire, ce dernier servira à la manœuvre du levier mobile M; il pourra être utilisé également pour les opérations préliminaires, telles que demandes de communication, etc.

3° *Cas.* — Lorsque le bitéléphone sera monté sur microphone avec deux téléphones ordinaires, l'un de ceux-ci servira à la manœuvre du levier mobile M. On pourra causer à volonté soit avec les téléphones ordinaires, soit avec le bitéléphone. Cependant lorsque le poste téléphonique devra être utilisé pour communiquer à grande distance, on aura intérêt à ne pas augmenter la résistance électrique normale des appareils. Dans ce cas, il suffira, pour ne laisser dans le circuit que le bitéléphone, d'employer un petit commutateur à deux directions, qui sera aisément manœuvré d'une main, l'autre restant toujours libre.

IV. *Mode d'emploi.* — Il suffit d'indiquer la manœuvre à faire dans le 2e cas, les autres s'en déduisant :

Au commencement de la conversation, placer le bitéléphone aux oreilles et porter le téléphone ordinaire du levier mobile M au levier fixe F (*fig.* 6).

A la fin de la conversation, placer le téléphone ordinaire de F à M, afin d'abaisser le levier mobile, et accrocher le bitéléphone au levier fixe F (*fig.* 5).

En résumé, cet instrument, dont la manœuvre n'offre, on le voit, aucune difficulté, peut être substitué à un téléphone récepteur quelconque dans tous les emplois, soient scientifiques, soient téléphoniques sur des réseaux urbains comme celui de Paris, sur des lignes interurbaines comme celles qui aboutissent à Paris, et même sur des lignes de communications à grande distance comme celle de Paris à Londres : une expérience *pratique* journalière ne laisse aucun doute à cet égard.

J'ai cru devoir insister un peu sur ces détails pratiques relatifs à la construction, l'installation et le

mode d'emploi des bitéléphones pour montrer qu'il ne s'agit pas là d'une conception purement théorique. Mais il me sera permis de faire remarquer, d'autre part, que la construction de cet instrument résulte tout naturellement et constitue comme la conclusion logique, matériellement réalisée, des recherches expérimentales, exécutées à diverses reprises, depuis 1885 surtout, en vue de confirmer une théorie du téléphone, qui a été exposée, en 1885 et 1886, dans les *Comptes rendus de l'Académie des sciences*, dans les *Annales télégraphiques* et dans le *Journal de physique*.

Cette théorie n'a suscité jusqu'à présent que les deux objections auxquelles j'ai répondu (p. 295); et je crois qu'il n'y en a pas de meilleure vérification que celle qui résulte de la réalisation d'un instrument, dont les pièces ont été combinées d'après les indications de cette théorie ou des expériences qu'elle a suggérées ; qui, imaginé tout d'abord pour des usages purement scientifiques, s'est adapté tout naturellement, sans modifications, aux modes d'emploi pratiques des téléphones, et dont le fonctionnement s'est trouvé immédiatement conforme aux prévisions théoriques.

E. MERCADIER.

COMMUTATEUR TÉLÉPHONIQUE CENTRAL SECTIONNÉ

(Suite) (*).

6° TABLES ET APPAREILS

Dispositions générales. — Les appareils constituant les organes du commutateur sont montés sur des panneaux verticaux, lesquels sont fixés sur des pieds droits, de dimensions convenables, pour que les téléphonistes puissent travailler assises sur des chaises d'appareils Hughes, pendant les heures de travail normal, ou rester debout le matin, le soir ou le dimanche, lorsqu'une seule téléphoniste, desservant plusieurs tables doit facilement passer de l'une à l'autre.

En avant et à la base des tableaux sont disposées des tablettes horizontales de 20 à 30 centimètres de largeur, aménagées pour recevoir les appareils de transmission et pour la tenue des écritures de service.

Tableau d'entrée (*fig.* 3). — Ce tableau est composé d'un panneau rectangulaire en acajou ou en noyer de 62 centimètres de hauteur et 112 centimètres de largeur.

Il est divisé en 40 bandes verticales coupées par 13 lignes horizontales, de façon à former 520 rectangles de 28 millimètres de largeur sur 48 millimètres de hauteur ; 500 de ces rectangles contiennent les annonciateurs d'appel et les boutons poussoirs, l'emplace-

(*) Voir *Annales télégraphiques*, p. 220.

ment des 20 autres marqués en *a*, *b*, *c*, *d* est réservé pour les six dispositifs locaux des tables de section.

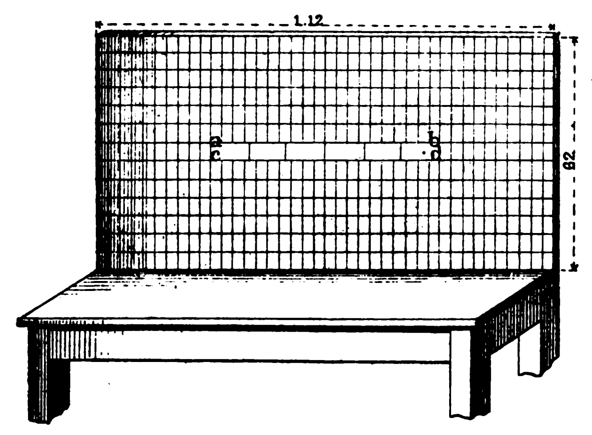


Fig. 3.

Annonciateur d'appel (*fig*. 4). — Il consiste essentiellement en un électro-aimant à deux branches, d'une résistance moyenne de deux cents unités, fixé sur la semelle horizontale d'un massif en cuivre M.

L'armature est une lame de fer doux pivotant entre deux vis à centre taraudées dans le montant vertical du massif au point P ; elle est équilibrée de façon qu'elle tombe du côté de l'encoche sans le secours d'aucun ressort antagoniste.

Les attaches des fils des bobines sont faites en *a* et *a'* sur un petit bloc d'ébonite fixé sur la semelle horizontale de l'annonciateur.

Les fils de ligne sont attachés à ces deux points, de telle sorte qu'il suffit pour enlever l'annonciateur, de détacher ces fils et d'enlever la vis *g* qui les fixe au tableau.

Le volet V consiste en une lame de cuivre échan-

crée du diamètre du noyau M formant le massif de l'annonciateur.

Le volet est porté sur deux vis à centre pivotant transversalement dans le noyau cylindrique précité.

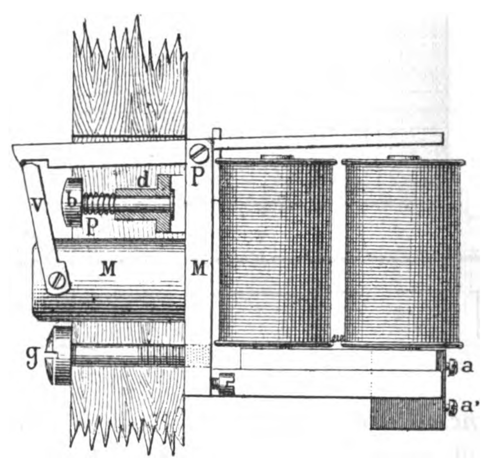


Fig. 4.

En tombant sur la tête de vis *g*, il pèse sur un petit ressort d'acier qui touche alors à la vis et ferme, s'il y a lieu, le contact local de la sonnerie de nuit.

Boutons poussoirs d'appel (*fig.* 4). — Une douille *d*, fixée dans l'épaisseur du tableau, laisse glisser la tige d'un poussoir *p*, dont le bouton *b* fait une légère saillie entre le volet et le tableau.

La douille *d* est reliée à la terre et le massif de l'électro d'appel aux fils de sortie des électros correspondants des tables de section.

Suivant la position du volet de l'annonciateur, le bouton poussoir est apparent ou caché, et par conséquent à la portée de la téléphoniste, ou bloqué, de telle sorte qu'il n'y a pas d'erreur possible, et l'on a la

certitude que l'abonné mis par la téléphoniste en relation avec la table de section est bien un abonné appelant.

Annonciateur polarisé (*fig.* 5). — Nous avons vu que l'emplacement *d*, *a*, du tableau d'entrée était réservé aux six dispositifs d'appel qui comprennent chacun un annonciateur et une clef.

L'annonciateur est formé d'un aimant permanent *a*, coudé d'équerre au point où il est fixé sur le panneau.

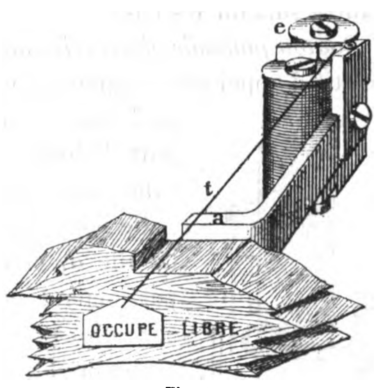


Fig. 5.

A l'autre extrémité est monté un électro-aimant *e*, à deux branches et à noyaux de fer doux; cet électro est fixé sur une équerre en cuivre faisant corps avec l'aimant.

Entre les extrémités supérieures des noyaux, oscille une petite languette *l*, pivotant sur un centre en acier fixé dans l'aimant.

Cette languette est fortement polarisée par l'aimant et elle est équilibrée de façon à rester inerte du côté des noyaux où l'a projetée le dernier courant local envoyé soit par le bouton poussoir du tableau d'entrée, soit par la clef de l'annonciateur d'avertissement de la table de section.

L'armature porte une tige en cuivre *t*, fixée près du point de suspension; cette tige est assez longue pour traverser le tableau en avant duquel elle fait saillie, elle porte à son extrémité libre un indice formé d'un

rectangle en métal mince qui se déplace suivant les mouvements de l'armature et de la tige.

En se déplaçant cet indice passe alternativement devant deux rectangles de même dimension marqués, l'un *libre*, l'autre *occupé*, de façon à masquer l'un ou l'autre suivant les cas.

Bouton poussoir d'avertissement (*fig.* 6). — Le dispositif d'appel est complété par un bouton poussoir *b*, *p*, destiné à faire fonctionner au départ l'électro d'avertissement de la table de section disponible.

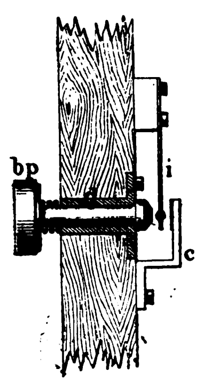


Fig. 6.

Ce bouton poussoir glisse dans une douille *d*, comme les boutons d'appel, mais tandis que ceux-ci butent sur le massif de l'annonciateur, le poussoir d'avertissement presse sur le ressort *r*, fixé en arrière du tableau; le ressort en se déplaçant porte sur l'équerre en cuivre C, placée en regard du ressort, de telle sorte que le courant de la pile locale, arrivant en *b*, *p*, passe d'une part au ressort *r*, et de là aux électros d'avertissement, d'autre part à l'équerre C, et de là à l'entrée des électros de la table de section.

Table de section (*fig.* 7). — Elle consiste essentiellement en un panneau rectangulaire vertical de $1^m,25$ de largeur et de 56 à 72 centimètres de hauteur, suivant l'importance du réseau.

La partie supérieure *a*, *b*, *c*, *d*, du tableau est un rectangle de $1^m,25$ de large sur 40 centimètres de hauteur sur lequel sont placés 500 conjoncteurs de ligne montés en avant du tableau ; plus 500 électros locaux

montés en arrière symétriquement par rapport aux conjoncteurs.

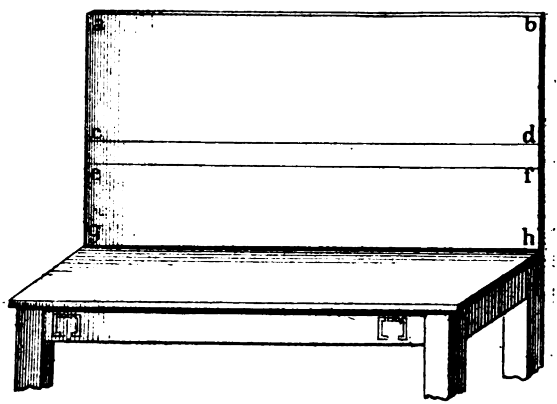


Fig. 7.

Conjoncteur de ligne (*fig.* 8). — Il se compose de trois blocs en cuivre *a*, *b*, *c*, montés séparément sur une plaque en ébonite *e*.

Les blocs *a* et *c* portent chacun un fort ressort plat en acier, fixé dans une rainure taillée sur les côtés des blocs. Le ressort du bloc *a* est platiné à son extrémité libre et porte sur un contact platiné soudé sur le côté du bloc *b*.

Fig. 8.

L'ouverture *t*, traverse les deux blocs de cuivre et la plaque d'ébonite, elle est de diamètre convenable pour que la cheville pénètre à frottement assez fort dans les trous des blocs et soulève franchement les ressorts d'acier, qui, au repos, font une légère saillie à l'intérieur de l'ouverture *t*.

Par le soulèvement du ressort du bloc *a*, la jonction électrique entre *a* et *b* est supprimée en même temps

que le frottement du ressort sur la cheville assure un bon contact ; le ressort du bloc *c* a uniquement pour but d'assurer une bonne communication entre ce bloc et la partie de la cheville qui lui correspond.

Le conjoncteur est fixé au tableau par deux boutons filetés, taraudés dans les blocs *a* et *b* et dont les extrémités sont munies d'écrous.

Un troisième boulon, taraudé dans le bloc *c*, passe lisse dans le tableau.

Les communications sont prises en arrière du tableau au moyen de fils serrés aux extrémités des boulons, et soudés s'il y a lieu.

Cheville (*fig.* 9). — La cheville, dont le modèle doit être étudié au triple point de vue de la sûreté des contacts, de la facilité des manœuvres et de la solidité des pièces mécaniques, est essentiellement formée de deux cônes *a b*, *c d*, placés en prolongement l'un de l'autre, mais séparés par un canon isolant en ivoire, chaussé sur la tige *t*, laquelle fait corps avec le cône *a b*, et sert d'âme centrale aux autres pièces.

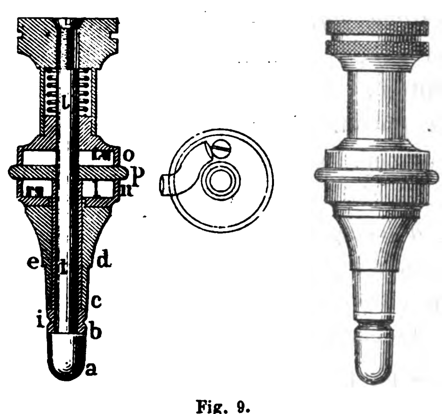


Fig. 9.

La partie *a b* est celle qui doit rentrer à frottement assez serré dans les blocs postérieurs des conjoncteurs et des plots de renvoi, la partie *c d* est celle qui pénètre dans les blocs antérieurs de ces mêmes plots ou

conjoncteurs, la partie rentrante est limitée par un petit épaulement *e*.

Les deux cônes *a b*, *c d*, sont reliés à des conducteurs isolés l'un de l'autre et dont le montage est combiné de façon qu'il n'y ait pas de torsion du cordon souple à son point d'attache sur la cheville, quel que soit le mouvement imprimé à celle-ci.

On sait que toute pénétration d'une cheville dans un commutateur donne lieu à deux mouvements : l'un droit, perpendiculaire au plan du commutateur, résulte de la poussée directe de la cheville ; l'autre, tournant, provient de la rotation de la cheville dans les blocs du commutateur.

Ce mouvement tournant, dont les télégraphistes et les téléphonistes prennent rapidement l'habitude, a pour effet d'assurer une bonne communication entre les points de frottement des pièces au contact.

Dans les chevilles simples des commutateurs télégraphiques il y a un avantage sérieux à ce qu'il en soit ainsi et cela n'entraîne aucun inconvénient ; dans les chevilles des commutateurs téléphoniques, la question est plus complexe, parce que les chevilles sont solidaires de fils conducteurs qui doivent participer à leurs mouvements et qui subissent les efforts tendant à les casser au point de jonction du cordon et de la cheville ; ce point d'attache est la partie faible de toutes les chevilles.

Pour éviter cet inconvénient, les deux fils du cordon ne sont pas fixés au corps même de la cheville, c'est-à-dire aux deux cônes *a b*, *c d* ; mais ils sont attachés aux deux parois d'une boîte circulaire *n*, *o*, *p*, tournant à frottement doux sur l'âme centrale de la cheville, de telle sorte que le cordon ne suivra la che-

ville dans son mouvement tournant qu'autant que le lui permettra le serrage des joues de la boîte ; ce serrage est assuré par un ressort à boudin de tension réglable.

Le montage de la boîte est fait ainsi qu'il suit : le cône *c d* est terminé par un épaulement *l*, sur lequel tourne à centre la première partie *n* de la boîte cylindrique ; il est bien entendu que la douille *c d*, étant montée sur le canon d'ivoire *i*, la partie *n*, se trouve isolée de la tige centrale.

La seconde partie *o* de la boîte est semblable à la première, sauf qu'elle tourne directement sur la tige centrale *t* ; le canon isolant *i* est terminé dans l'intérieur de la boîte où il affleure la joue d'une bague en ivoire *p*, destinée à isoler l'une de l'autre les deux chambres *n*, *o* de la boîte.

Le raccordement des fils avec les deux parties de la boîte est fait à l'intérieur de celle-ci et de la façon suivante, les deux conducteurs arrivent parallèlement sous la même tresse extérieure jusqu'à l'intérieur de la boîte où ils sont séparés, en ayant soin de lier solidement le nœud de séparation.

Le bout de chaque conducteur étant mis à nu est redressé et fixé solidement sous une vis taraudant dans le fond de la boîte.

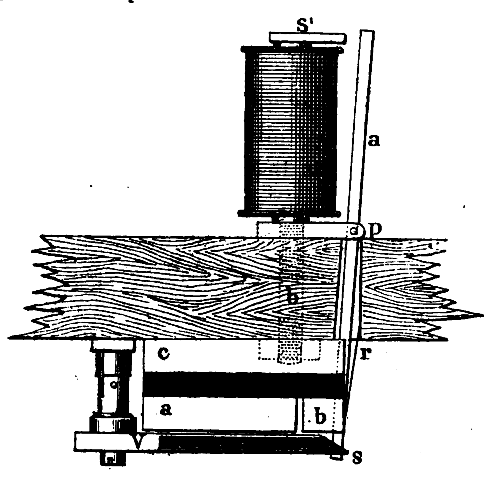
Les fils étant bien serrés, on ramène les deux boîtes contre la bague de séparation et on enfile la tige centrale.

L'enveloppe extérieure, revêtue d'un petit tube de caoutchouc, est maintenue serrée entre les pièces *n* et *o*, par le rapprochement de ces deux pièces, lequel est déterminé par un fort ressort à boudin agissant sur la partie plate de la pièce *n*.

Ce ressort est logé dans un tube cylindrique for-

mant la tête de la cheville dont la liaison avec l'âme centrale est faite au moyen d'un ajustement à carré complété par la vis fraisée qui taraude dans le bout de la tige.

Le ressort à boudin doit être réglé de façon que la boîte cylindrique *n*, *o*, *p* tourne à frottement assez doux sur les canons qui forment les centres afin que le cordon n'ait à subir aucun pliage, quels que soient les mouvements imprimés à la cheville.



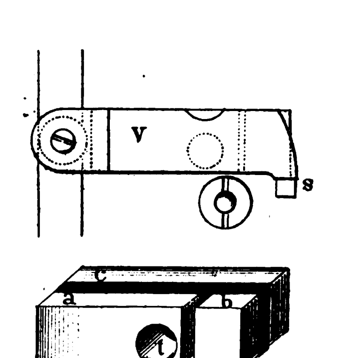


Fig. 10.

Electros locaux (*fig.* 10). — Nous avons vu dans la figure d'ensemble, que les électros locaux des tables de section sont commandés par le jeu combiné des boutons d'appel et des boutons poussoirs du tableau d'entrée.

Chaque électro local consiste en un électro-aimant

à une branche rectiligne, dont le noyau de fer doux est creux et sert de guide au boulon *b*, lequel sert à fixer l'électro au panneau; le serrage est fait au moyen d'un écrou placé à l'avant du tableau dans l'espace réservé entre deux conjoncteurs considérés dans la ligne verticale.

Une goupille *g*, fixée dans la joue de l'électro et rentrant dans l'épaisseur du bois, contribue à assurer la fixité de l'ensemble.

L'armature *a* pivote au point *p*, elle joue horizontalement au droit des joues, lesquelles forment les pôles de l'électro.

Au repos, elle est maintenue à distance sous l'action d'un ressort antagoniste *r*, placé entre elle et la joue antérieure de la bobine.

L'armature traverse le tableau et fait saillie jusqu'au point S, où elle est encliquetée avec un appendice d'accrochage faisant partie d'un volet V, placé devant le conjoncteur de ligne décrit précédemment.

Volet d'appel. — Ce volet est formé d'une lamelle en cuivre de longueur et de largeur identiques à celles du conjoncteur, pivotant sur un centre fixe monté sur le tableau à gauche du conjoncteur.

Au repos, lorsque l'appendice du volet repose sur l'extrémité de l'armature, le volet couvre entièrement le conjoncteur qui se trouve ainsi bloqué (*fig.* 10).

Lorsqu'un courant passe dans l'électro, l'armature *a* est attirée vers le point S′, le petit appendice formant l'extrémité du volet V se trouve dans le vide et le volet tombe en pivotant autour de son point de suspension fixé, comme il a été dit, sur le tableau (*fig.* 10).

Le volet porte le numéro de l'abonné, et s'il y a lieu des indications complémentaires, noms, adresses, etc.

Poste de fin de conversation. — Immédiatement au-dessous des rangées des conjoncteurs de ligne, le tableau (*fig.* 7) comporte un espace *c*, *d*, *e*, *f*, de 8 centimètres de hauteur sur 1^{m},25 de largeur, divisé en 13 rectangles dont 12 sont disposés pour les postes de fin de conversation, et un, celui du milieu, est réservé pour l'annonciateur d'avertissement.

Chaque poste de fin de conversation est formé :

1° D'un annonciateur;

2° De deux chevilles avec cordons souples ;

3° D'un galvanomètre indicateur;

4° D'un manipulateur à deux touches.

Annonciateur (*fig.* 11).— Il se compose de deux parties comprenant :

1° Un conjoncteur formé de deux blocs en cuivre *a* et *b*, faisant corps et isolés l'un de l'autre par une lame en ébonite.

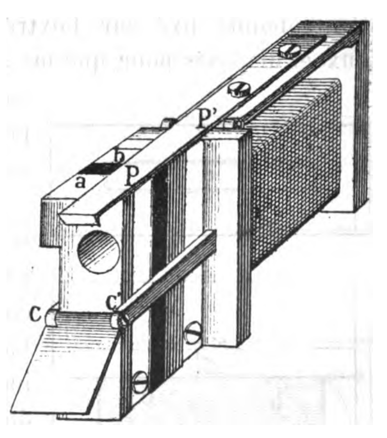


Fig. 11.

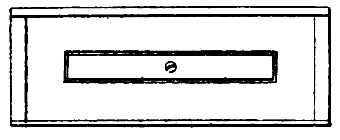
Les blocs et la plaque sont percés d'une ouverture destinée à recevoir la cheville de l'appareil téléphonique (voir figure d'ensemble) la liaison électrique est donnée par la pression de deux ressorts en acier fixés dans les deux rainures pratiquées au droit des blocs : ces deux ressorts ont pour unique fonction d'assurer de bons contacts entre les deux parties de la cheville et les deux blocs du conjoncteur.

2° Un électro-aimant rectiligne méplat, fixé au moyen d'une lamelle de cuivre sur la plaque de fond du bloc *b* du conjoncteur. L'armature *p* de l'électro pivote au point de centre *p'*, l'échancrure de la palette arrive en avant du bloc antérieur *a* et maintient, accroché au repos, un volet dont les points de pivotage C C' sont placés aux extrémités de deux bras montés sur le bloc postérieur *b*.

L'annonciateur est fixé au tableau par 4 petites vis en cuivre taraudées dans la partie du bloc *b*, formant un renflement.

Le panneau est percé d'une entaille par laquelle passent les blocs du conjoncteur et l'armature de façon que le volet étant en place et accroché fasse une légère saillie par rapport à l'avant du tableau.

Les fils de sortie de la bobine sont amenés à un petit bloc d'ébonite fixé sur l'extrémité du noyau de fer doux et disposés pour que les attaches des communications qui y sont jointes puissent être facilement serrées ou soudées.



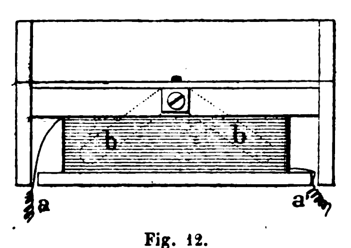


Fig. 12.

Galvanomètre indicateur (*fig.* 12). — Cet appareil, intercalé dans le circuit d'appel du côté de l'abonné appelé, sert à indiquer à la téléphoniste de section si la ligne de l'abonné qu'elle a demandée à la table centrale est occupée par suite d'un appel antérieur fait par l'abonné appelé, et par conséquent si, dans ce cas elle est coupée à un conjoncteur

de ligne de l'une des six tables de section, ou bien si elle est libre et par suite continue.

L'indicateur se compose essentiellement d'une hélice méplate dont les attaches des fils sont en *a* et *a'*.

Un barreau aimanté, *bb*, coudé ainsi que l'indique la figure, plonge en quelque sorte dans l'hélice, de façon que ses pôles magnétiques soient dans le milieu du cadre, pris en ligne verticale, et par conséquent en plein dans le champ électrique de l'hélice.

Une petite lamelle en cuivre, passant exactement dans l'ouverture rectangulaire du cadre est fixée à la partie supérieure de l'aimant, elle sert d'aiguille indicatrice en même temps qu'elle équilibre le barreau par rapport au centre de gravité du système.

Dès qu'un courant d'appel passe dans le circuit, par suite de l'abaissement de la touche de droite du manipulateur à deux clefs, le barreau quitte sa position d'équilibre et l'aiguille sort du cadre, à droite ou à gauche, suivant le sens du courant.

Elle revient rapidement au repos, non seulement à cause de la position du centre de gravité, mais aussi par suite de sa forme ramassée qui ne se prête pas aux oscillations prolongées, ainsi que le fait une aiguille de galvanomètre.

Manipulateur à deux touches (*fig.* 13). — Le manipulateur placé à gauche de l'indicateur est disposé pour que la téléphoniste puisse, à volonté, appeler l'un ou l'autre des abonnés, ou tous les deux à la fois.

Il est également combiné pour qu'il n'y ait qu'une seule pile d'appel par table de section ou même par section ; c'est pour cette raison que le ressort *n* fixé entre les deux touches de la clef a été ajouté. Sans cette adjonction, les fils de retour des abonnés en com-

munication se trouveraient réunis par le négatif de la pile d'appel, et il y aurait de ce fait mélange de ces fils.

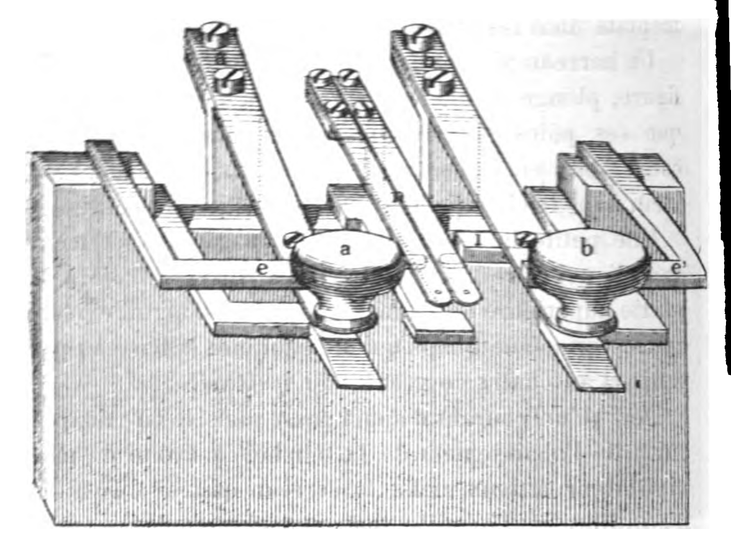


Fig. 13.

Le manipulateur se compose de deux ressorts d'acier fixés aux points *a* et *b* et d'un troisième ressort placé au point *n*. A l'extrémité libre des deux ressorts *a* et *b* sont fixées deux petites traverses en ivoire, lesquelles débordent de chaque côté et passent sous le ressort *n*.

La tension des ressorts est la même pour les trois lamelles; elle agit dans le sens du relèvement, c'est-à-dire dans le sens convenable pour que la poussée sur les équerres *e*, *e'*, se fasse aussi franchement que possible, dans l'intérêt des contacts.

Fonctionnement des appels (*fig.* 2) (*). — Le bouton de l'une des deux touches, *a* par exemple étant abaissé,

(*) Voir p. 224.

la lame *a* est mise au positif de la pile d'appel, tandis que la lame *n* est au négatif et que la touche *b* reste au contact de l'équerre *e'*; le courant de la pile d'appel passe par le fil 1 de la cheville de gauche, le bloc *a* du conjoncteur de ligne de l'abonné appelant la ligne 1, l'appareil de l'abonné, le fil de retour, le deuxième fil du cordon souple, le galvanomètre indicateur, la lame *n*, et enfin le négatif de la pile par lequel se ferme le circuit de la pile.

Par cette manœuvre, le courant d'appel est dirigé uniquement sur la ligne de l'abonné *appelant*.

En appuyant sur la touche *b*, l'inverse se produit, le positif de la pile d'appel passe par la lame *b*, le fil 1 de la cheville de droite, la ligne 1 de l'abonné appelé, son appareil, le fil de retour, le galvanomètre indicateur, la lame *n*, et enfin le négatif de la pile qui complète le circuit comme précédemment.

Par cette nouvelle manœuvre, c'est l'appareil de l'abonné *appelé* qui seul fonctionne.

Dans les deux cas, l'aiguille du galvanomètre indiquera, par sa déviation, la continuité du circuit.

Enfin en appuyant sur les deux touches à la fois, le courant se bifurquant dans les deux lignes, les deux abonnés en relation seront appelés ensemble.

Montage du manipulateur. — Toutes les pièces constituant le manipulateur sont fixées sur un plateau d'ébonite et combinées de façon que toutes les vis de serrage taraudent dans des parties métalliques (on sait que le filetage de l'ébonite est souvent défectueux et qu'il ne présente aucune garantie); le plateau d'ébonite est fixé au tableau par quatre vis à bois, il est disposé de façon qu'il puisse être enlevé et replacé sans difficulté.

Les fils de communications sont serrés après les prolongements des équerres et des blocs de pile et de repos.

Annonciateur d'avertissement (*fig.* 14). — Cet appareil monté dans le rectangle inscrit au milieu de la bande *c*, *d*, *e*, *f*, de la table de section, se compose d'un simple annonciateur, semblable aux annonciateurs d'appel du tableau d'entrée.

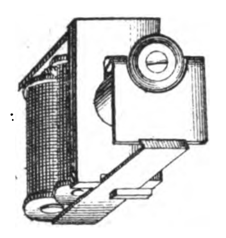


Fig. 14.

Le centre du bouton poussoir *p*, placé au-dessous de l'instrument, est relié au levier correspondant de l'annonciateur polarisé du tableau d'entrée. (Voir le plan d'ensemble.)

Lorsque la téléphoniste de section a établi une communication et qu'elle est disponible pour en établir une seconde, elle indique sa disponibilité à la téléphoniste du tableau d'entrée dont la fonction, ainsi que nous l'avons vu, est de répartir le travail entre les tables de section au fur et à mesure qu'elles deviennent libres, ce qui leur est indiqué par l'indicateur polarisé.

La téléphoniste de section en appuyant sur le poussoir envoie un courant local qui, en circulant dans l'annonciateur polarisé, détermine l'oscillation de la languette et rend visible l'indication *libre* en remplacement du mot *occupé* qui est recouvert à sa tour.

La table de section est ainsi *débloquée* par rapport au tableau d'entrée dont le travail doit être dirigé en conséquence.

Plot de renvoi (*fig.* 15). — La partie inférieure de la table de section forme un troisième rectangle *e*, *f*, *g*, *h* (voir *fig.* 7) de 1^m,25 de largeur et 8, 16 ou 24 centimètres de hauteur, suivant l'importance du réseau et

le nombre de renvoi qu'il y a lieu d'établir entre les tables de section et les tables centrales.

Le plot de renvoi se compose de deux blocs en cuivre superposés et isolés par une bande d'ébonite comme les conjoncteurs de ligne.

L'ouverture *t* et les ressorts plats ont des fonctions analogues à celles que nous avons vues précédemment.

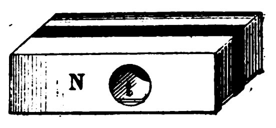


Fig. 15.

Sur sa face apparente, en N, le plot de renvoi porte un numéro de service qui se retrouve sur la cheville correspondante placée à la partie supérieure de la table centrale. (Voir figure d'ensemble.)

Ce numéro est également commun à un bouton poussoir *b*, *p*, monté sur le panneau à proximité du plot, et à un électro local d'avertissement monté sur la table centrale.

Les plots de renvoi sont fixés sur le panneau exactement comme le sont les conjoncteurs de ligne, c'est-à-dire par des boulons traversant le tableau et assujettis au moyen d'écrous ; les attaches des communications sont également vissées après les boulons.

Les boutons poussoirs sont montés comme ceux des annonciateurs d'appel du tableau d'entrée ; les attaches des communications sont prises par les mêmes moyens.

Tablette horizontale. — La table de section porte, indépendamment du panneau vertical dont nous avons vu les diverses parties, une tablette horizontale de 25 centimètres de largeur fixée à la partie *g*, *h* du tableau.

Cette tablette disposée pour la tenue des écritures de service est également aménagée pour la pose et le raccordement des appareils de transmission.

A cet effet elle est munie de deux mâchoires d'encastrement fixées sur le bandeau formant le cadre de la table, au droit des pieds, de façon que le service de la table de section soit assuré par une téléphoniste, en temps normal ou par deux aux heures de grande activité, ou encore pour l'instruction pratique des élèves téléphonistes.

Table centrale. — La table centrale est le point où se font les jonctions des fils d'abonnés de toutes les sections avec ceux du groupe de 500 numéros ressortissant à cette même table.

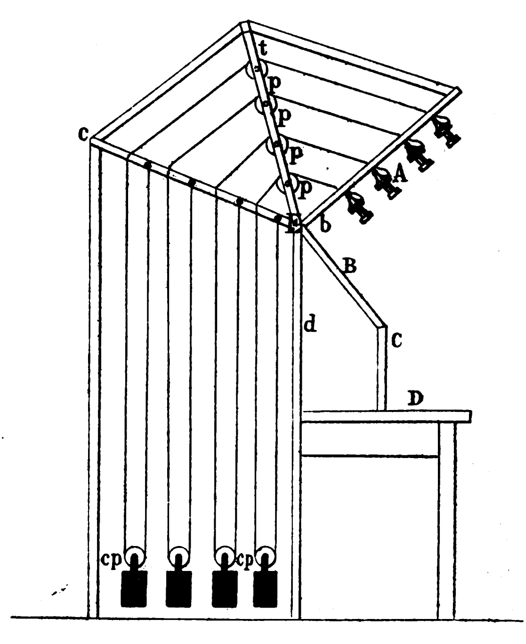


Fig. 16.

Elle comporte : 1° les 500 conjoncteurs de ligne de son groupe ; 2° des chevilles reliées aux plots de ren-

voi des tables de section; 3° des électros locaux reliés aux boutons poussoirs de ces même plots de renvoi. (Voir fig. d'ensemble.)

Le nombre des chevilles et des électros locaux est en raison de l'importance du réseau et du nombre des tables de section.

Pour un bureau desservant 20.000 abonnés et divisé en 40 groupes, il y aurait à chaque table centrale 480 chevilles de renvoi et 480 électros locaux.

La table centrale est formée de trois panneaux et d'une tablette horizontale donnant le profil *a*, *b*, *c*, *d*, *e* ; le tout assemblé suivant des angles déterminés. (Voir *fig.* 16.)

Vue de face (*fig.* 17), la table présente les trois rectangles A, B, C, et la tablette horizontale D.

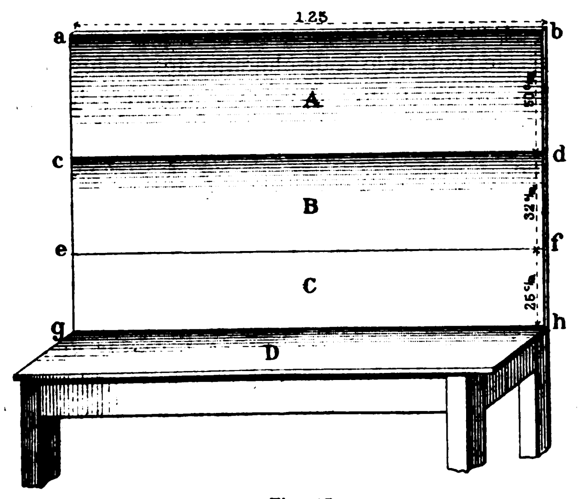


Fig. 17.

Les dimensions de la table centrale étudiées pour le bureau de 20.000 abonnés sont les suivantes :

Hauteur verticale *a*, *b*, du panneau A.	0^m,30
Hauteur réelle du panneau incliné A.	0^m,50
Hauteur verticale *b*, *d*, du panneau B.	0^m,25
Hauteur réelle du panneau incliné B	0^m,32
Hauteur verticale du panneau C.	0^m,25

Les dimensions et les inclinaisons de ces panneaux ont été choisies de façon à ce que la téléphoniste étant assise devant sa table à une hauteur convenable, puisse prendre facilement les chevilles placées en A et les répartir dans les conjoncteurs de ligne montés sur le panneau B.

Rectangle A. — Le rectangle A, dont les dimensions ont été données précédemment, est percé d'autant de trous qu'il y a de chevilles et de cordons souples ; les chevilles sont rangées suivant un ordre déterminé qui dépend, comme nombre et comme numérotage, du nombre et des numéros inscrits sur les plots de renvoi des tables de section.

Ainsi, le rectangle A de chacune des tables centrales d'un bureau de 20.000 abonnés comporterait 480 chevilles divisées en 12 séries verticales de 40 chevilles chacune.

Les chevilles sont semblables à celles dont la description a été donnée précédemment; elles sont fixées à l'extrémité de cordons souples, qui, passant dans les trous percés dans le tableau A, glissent dans les gorges des poulies *p*, *p'*.... montées à centre sur une tringle d'acier fixée solidement dans une traverse en bois *t*.

Au point C, est placée une forte traverse en bois de 1^m,25 de longueur et de 10 centimètres de largeur. Cette traverse est supportée par deux pieds droits reposant sur le sol et par deux traverses joignant le point C au point E, lequel se trouve ainsi le nœud d'assemblage des panneaux et des traverses.

La traverse C, la ligne représentée par l'assemblage E et les traverses joignant E et C, forment un cadre sur lequel sont fixées 40 réglettes méplates en bois formant ainsi une sorte de claie.

Chaque réglette est divisée en 12 lignes équidistantes à chacune desquelles est monté un galet pivotant autour d'une vis à centre fixée dans la réglette.

Les cordons souples, en sortant des gorges des poulies placées entre les traverses *t*, s'engagent sur les galets des réglettes, tombent verticalement, passent dans la gorge d'une poulie C*p*, montée dans une chape supportant un poids en plomb, remontent ensuite verticalement et finalement sont fixés après une équerre en cuivre encastrée dans la réglette et placée de façon qu'elle soit facilement abordable pour la vérification ou le démontage.

A ces mêmes équerres viennent s'attacher les fils de communication reliant les cordons souples aux tables centrales.

Rectangle B. — Les 500 conjoncteurs de ligne montés sur le panneau B, sont divisés en 25 lignes horizontales de base sur 20 lignes verticales de hauteur, soit 500 divisions correspondant au nombre des lignes aboutissant à la table centrale.

Les conjoncteurs sont identiques comme construction aux plots de renvoi décrits dans le paragraphe relatif aux tables de section; chacun d'eux est percé d'une ouverture dans laquelle doit pénétrer, à frottement assez serré, une des chevilles du rectangle A.

La surface libre du conjoncteur, à gauche de l'ouverture est réservée pour la gravure du numéro de l'abonné.

Rectangle C. — La partie C de la table centrale est un panneau vertical qui porte des électros locaux reliés respectivement aux boutons poussoirs des plots de renvoi répartis sur les tables de section. (Voir la *fig.* d'ensemble.)

Ces électros concordent exactement comme nombre et comme numérotage avec les chevilles de jonction, montées sur le rectangle A, et ils servent, ainsi que nous l'avons vu, uniquement d'avertisseurs pour la manœuvre des dites chevilles.

La forme, les dimensions, le montage et le fonctionnement de ces électros sont identiques à ceux des électros locaux des tables de section dont la description a été donnée précédemment.

Appuie-coudes. — Les téléphonistes des tables centrales n'ont à faire aucune écriture de service, par conséquent il n'est pas utile de leur réserver d'emplacement sur la tablette horizontale qui termine le rectangle C, cette tablette sert uniquement de support pour les appareils portatifs qui y sont déposés au repos.

La place de chaque téléphoniste est encadrée entre deux montants en bois portant des appuie-coudes dont la hauteur se règle à volonté.

Cette disposition appliquée dans le modèle de table centrale ayant servi aux expériences du 4 mai 1890, facilite beaucoup le travail parce qu'elle donne aux téléphonistes plus de facilité et d'aisance dans les mouvements et qu'elle atténue considérablement la fatigue résultant du maintien constant à l'oreille de l'appareil portatif.

7° INSTALLATION, EMPLACEMENT.

Installation. — Tout ce qui concerne l'arrivée des fils de ligne, aériens et souterrains, le groupement et le raccordement clair et méthodique de ces conducteurs, leur répartition aux points centraux des salles de travail, le montage des paratonnerres, des piles, etc., nécessite une étude toute spéciale, très compliquée et minutieuse, surtout lorsqu'il s'agit de l'installation du bureau central d'un grand réseau, dans lequel des milliers de fils convergent et se rassemblent en un point unique.

Cette étude est indépendante de celle qui concerne l'agencement des commutateurs, le montage des tables, la conduite et le raccordement des fils reliant ces tables entre elles.

D'une façon générale, chacune des tables sera pourvue d'un panneau vertical en bois, de 2 centimètres d'épaisseur environ, fixé d'une part au tableau dont il forme en quelque sorte un prolongement inférieur, et, d'autre part au sol ou aux pieds de la table.

Ce panneau sera percé de trous en nombre égal à celui des fils aboutissant au tableau, chacun des trous sera garni d'une broche en cuivre percée aux deux bouts et munie de vis de serrage à têtes carrées.

Les fils de raccordement aboutissant à la table seront amenés en bloc soit dans des conduits ou cimaises, soit dans des caniveaux à portée des tableaux devant lesquels ils seront épanouis régulièrement et de longueur convenable pour que les bouts des câbles dénudés et tordus en boucle soient fixés et serrés solidement par les vis de serrage des broches.

L'autre face du panneau recevra les fils venant du tableau supérieur, lesquels seront amenés aussi clairement et régulièrement qu'il sera possible devant leurs broches respectives où ils seront raccordés par les vis de serrage comme il a été dit pour les fils venant à la table.

De cette façon on évitera en partie les surcharges de fils, et par cela même l'installation sera plus claire et plus facile à surveiller dans le service de l'entretien et de la recherche des dérangements. A la partie supérieure du panneau, les fils seront fixés directement aux appareils dont les vis de serrage et de communication seront toujours taraudées dans des pièces métalliques.

Emplacement. — L'emplacement nécessaire à l'installation d'un bureau central téléphonique ne peut guère être déterminé à l'avance, même approximativement; il dépend essentiellement des conditions du local, de l'organisation générale du service, etc.

En ce qui se rapporte à l'installation du commutateur sectionné, d'après les études et projets faits en prévision du montage d'un bureau central, l'ensemble d'un commutateur desservant 10.000 abonnés, occupait une salle de 60 mètres de longueur sur 10 mètres de largeur, cette salle étant complètement éclairée sur la grande façade et les côtés, tandis que le fond, mitoyen avec des propriétés privées est éclairé en partie par des cours intérieures.

Toutefois, il convient de remarquer que, quelle que soit la disposition des locaux, les différentes sections du commutateur étant indépendantes les unes des autres, peuvent êtres montées dans des salles séparées

situées même à des étages différents, mais à la condition qu'elles soient bien éclairées.

L'installation se trouve ainsi facilitée d'une façon générale, et il y a plus de marge pour la répartition du travail et l'organisation du service, sous réserve des différences de dépenses de premier établissement résultant de la longueur totale et de la pose des fils intérieurs reliant les tables entre elles.

MANDROUX.

DEUXIÈME NOTE

SUR DES

MESURES DE CAPACITÉ ET DE SELF-INDUCTION

EFFECTUÉES SUR DES LIGNES AÉRIENNES

Le numéro des *Annales* de novembre-décembre 1890 a fait connaître les résultats donnés par des mesures de capacité et de self-induction et d'induction mutuelle effectuées à Épernay sur une ligne en fil de fer de 3 millimètres de 18 kilomètres environ.

Une deuxième série d'expériences vient d'être tentée entre Bordeaux et Pauillac sur une ligne de 50 kilomètres (en chiffres ronds) et sur des circuits de fil de fer de 3 millimètres et de fil de cuivre de 2 millimètres 1/2 ; ces nouvelles expériences nous ont permis d'une part de contrôler l'exactitude des chiffres trouvés à Épernay à l'automne dernier, et d'autre part de déterminer également pour des fils de bronze les valeurs des constantes du circuit.

Le temps fort beau pendant la première semaine de mai, s'est malheureusement gâté le jour même où les expériences ont commencé, et les mesures ont été faites sinon par la pluie, elles étaient alors impossibles, du moins par une atmosphère saturée d'humidité en raison des pluies torrentielles tombées les jours précédents, et les fils n'ont pas dès lors présenté l'iso-

lement désirable. Les isolements n'atteignaient même pas ceux d'Épernay.

Les méthodes employées ont été les mêmes qu'à Épernay, sauf les modifications qui seront indiquées à propos de chaque essai.

Les mesures ont été faites sur deux circuits.

A. Entre Bordeaux et Pauillac deux fils de fer de 3 millimètres, d'une longueur de 49^{km},100, placés aux 3e et 4e rangs, et à 0^{m},40 l'un de l'autre sur des poteaux de 8 mètres.

B. Entre Bordeaux et Pauillac, deux fils de cuivre de 2 millimètres 1/2, d'une longueur de 49^{km},400, placés supérieurs et à 0^{m},40 l'un de l'autre sur des poteaux de 8 mètres.

A Bordeaux, pour avoir des terres distinctes entre elles et distinctes de celle du poste central, lequel travaille toute la nuit, on a dû utiliser des fils aériens reliant le poste central à deux bureaux succursales distants de 770 et de 1.682 mètres. Les résistances des terres ainsi constituées étaient de 16$^{\omega}$,5 et de 41$^{\omega}$,5.

A Pauillac, pour avoir une deuxième terre distincte de celle du bureau on a recouru au même procédé.

On s'est servi constamment d'une pile de 40 Leclanché.

Les résultats donnés par ces mesures sont les suivants :

Circuit A.

	FIL 1	FIL 2	
Isolement kilométrique. .	3$^{\Omega}$,6	3$^{\Omega}$,5	6$^{\Omega}$ et 8$^{\Omega}$ à Epernay.

	FIL 1	FIL 2	
Résistance totale	903^{ω}	897^{ω}	
Résistance kilométrique. .	$18^{\omega},3$	$18^{\omega},3$	$17^{\omega},9$ à Epernay.

	FIL 1	FIL 2	FILS 1, 2	
Capacité totale	$0^{\varphi},506$	$0^{\varphi},463$	$0^{\varphi},339$	
Capacité kilométrique.	$0^{\varphi},0103$	$0^{\varphi},0094$	$0^{\varphi},0069$	
Capacité kilométrique moyenne	$0^{\varphi},0099$		$0^{\varphi},0069$	$0^{\varphi},0097$ et $0^{\varphi},0070$ à Épernay

La méthode employée pour mesurer la capacité était la même qu'à Épernay. De nombreuses expériences de laboratoire nous ont permis, en effet, de nous assurer que les perturbations apportées par l'usage de la clé spéciale (voir l'article précité), en raison de l'instant très court pendant lequel la pile se trouve en circuit avec le galvanomètre, se réduit à une déviation constante et facilement mesurable pour chaque valeur de la pile.

Self-induction de l'ensemble des 2 fils bouclés à Pauillac :

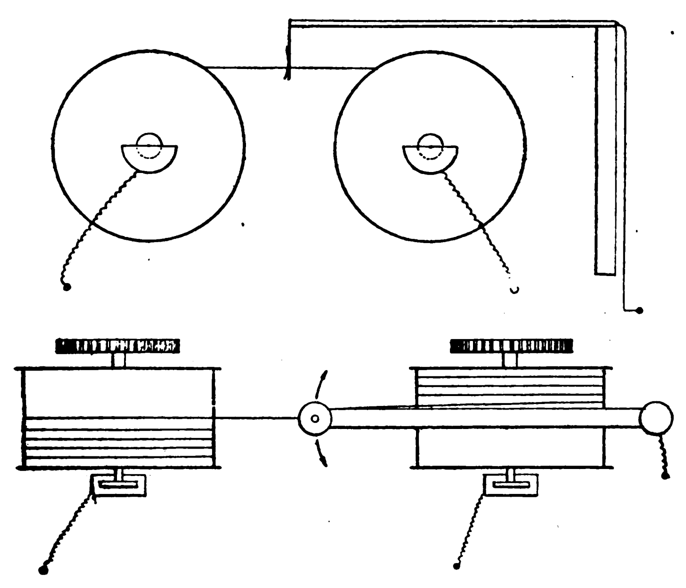
	1er ESSAI	2e ESSAI	
Self-induction totale	$0^{q},638$	$0^{q},636$	
Self-induction kilométrique. . .	$0^{q},0129$	$0^{q},0129$	$0^{q},012$ à Épernay.

Les deux essais ont été faits en shuntant le condensateur gradué par des résistances de 300^{ω} et 400^{ω}.

La self-induction d'un fil mis à la terre à Pauillac

n'a pu être mesurée, en raison des perturbations apportées par le courant de terre.

Au lieu d'employer, pour établir l'équilibre, un fil de maillechort tendu sur lequel on fait glisser un frotteur, nous avons fait usage d'un dispositif imaginé pour ces essais et qui permet d'arriver très rapidement à l'équilibre. C'est un fil de maillechort de $0^{mm},4$ de diamètre et de $2^{m},70$ de long, enroulé en sens



inverse sur deux tambours d'ébonite dont la gorge est creusée en pas de vis; le fil est toujours tendu entre les deux cylindres et une pince vient prendre un contact sur cette partie droite du fil. Des capsules mobiles (l'instrument doit être transportable) pleines de mercure donnent un contact sûr entre des communications fixes et les extrémités du fil de maillechort.

En tournant l'un des tambours, le fil de maillechort

s'enroule sur lui et abandonne l'autre tambour, et des points différents du fil viennent en contact avec la pince qui ne peut prendre qu'un mouvement perpendiculaire au fil, de façon à se trouver toujours dans le plan de la partie de ce fil tendue entre les deux tambours.

Induction mutuelle. — Malgré les précautions prises, le spot n'avait aucune fixité et dès lors les résultats des expériences n'étaient nullement concordants, il est donc préférable de ne donner aucun chiffre.

Pour éviter les inconvénients résultant de l'emploi d'une pile antagoniste, on ramenait dans les limites de l'échelle, au moyen de l'aimant directeur, le spot dévié sous l'influence du courant de terre.

Circuit B.

	FIL 1	FIL 2	
Isolement.	8^{Ω}	$9^{\Omega},5$	pour le jour des seconds essais. Le premier jour, le temps était plus humide et l'isolement moins satisfaisant encore.

	FIL 1	FIL 2
Résistance totale	$272^{\omega},5$	$272^{\omega},5$
Résistance kilométrique	$5^{\omega},51$	$5^{\omega},51$

	1er JOUR HUMIDE			2e JOUR PLUS SEC		
	Fil 1	Fil 2	Fils 1, 2	Fil 1	Fil 2	Fils 1, 2
Capacité totale	$0^{\varphi},476$	$0^{\varphi},534$	$0^{\varphi},360$	$0^{\varphi},444$	$0^{\varphi},475$	$0^{\varphi},327$
Capacité kilométrique.	$0^{\varphi},0095$	$0^{\varphi},0106$	$0^{\varphi},0072$	$0^{\varphi},0089$	$0^{\varphi},0095$	$0^{\varphi},0065$

Self-induction des fils bouclés. — Trois essais consécutifs ont été faits le même jour en shuntant le condensateur avec des résistances de 150, 200 et 300$^{\omega}$.

	1er ESSAI	2e ESSAI	3e ESSAI
Self-induction totale	0^{q},126	0^{q},126	0^{q},124
Self-induction kilométrique.	0^{q},0025	0^{q},0025	0^{q},0025

Les fils de bronze possèdent donc une self-induction appréciable, le 1/5 environ de celle des fils de fer que nous avons mesurés.

Ce résultat confirme pleinement les idées théoriques émises par M. Vaschy, qui, dans son *Traité d'électricité et de magnétisme*, trouve par le calcul la valeur de 0^{q},0028. Par contre, il est en complet désaccord avec l'opinion des ingénieurs du Post-Office qui considèrent les fils de bronze comme ayant une self-induction nulle.

La self-induction d'un fil mis à la terre à Pauillac n'a pu être mesurée; pour les raisons données déjà plus haut.

Induction mutuelle. — Le spot n'avait aucune fixité et l'on ne saurait attribuer de valeur au chiffre de 0^{q},0019 au kilomètre qui résulte de l'expérience.

Conclusions. — Les essais entrepris sur le circuit A d'une longueur de 50 kilomètres, donnent une confirmation complète aux résultats trouvés à Épernay sur une ligne de 18 kilomètres seulement.

La capacité d'un fil de 3 millimètres en fer placé à 4 à 5 mètres du sol est de 0$^{\varphi}$,009 à 0$^{\varphi}$,01 ; la capacité de l'ensemble des 2 fils distants de 0,40, l'un par rap-

port à l'autre de $0^{\varphi},0065$ à $0^{\varphi},0070$, soit les 7/10 environ de la capacité d'un des fils par rapport au sol.

La self-induction d'un circuit bouclé ou fil de fer de 3 millimètres est de $0^{q},012$ à $0^{q},013$ par kilomètre de ligne, pour la qualité du fer des lignes.

La self-induction d'un circuit de cuivre de $2^{mm},5$ est de $0^{q},0025$ par kilomètre de ligne.

Ces résultats semblent acquis, mais il est fort utile, au point de vue télégraphique, de déterminer expérimentalement la self-induction d'un fil unique, et à cet effet, nous allons chercher à constituer un circuit partant d'un bureau par une ligne et y revenant par une autre, sans que les conducteurs qui le constitueront aient un parcours commun sur les mêmes appuis soit entre eux, soit avec des fils en service.

Nous espérons pouvoir compléter ainsi pour la self-induction un ensemble de mesures qui présentent entre autres l'intérêt de n'avoir pas encore été effectuées sur les lignes télégraphiques.

E. Massin.

RÉTABLISSEMENT

DES COMMUNICATIONS TÉLÉGRAPHIQUES

AU BUREAU CENTRAL

DE LA WESTERN UNION TEL. C° A NEW-YORK

APRÈS L'INCENDIE DU 18 JUILLET 1890 (*)

Le bureau central de la *Western Union Telegraph C°*, à New-York, a été complètement détruit par un incendie dans la matinée du 18 juillet 1890. La salle des appareils située au 7e étage, d'une superficie de 75 pieds sur 150, contenait environ un millier d'opérateurs, employés et facteurs, sa hauteur était de 21 pieds.

Cette salle contenait un commutateur principal de lignes pouvant recevoir 700 fils, un commutateur de fils urbains pour 250 fils, un commutateur de communications directes pour 200 circuits, 40 installations en quadruplex, 40 en duplex, environ 700 en simple, les tubes pneumatiques, 3 installations de l'appareil imprimeur Hughes-Phelps, un système rapide de distribution des télégrammes, les bureaux d'ordre et ceux de la direction.

La salle des piles était située au 6e étage et renfermait environ 20.000 éléments. Le vestiaire et les cabinets de toilette se trouvaient également à cet étage.

(*) D'après *The electrical Engineer*. V. x, p. 125.

Le 8e étage était occupé par le service des transmissions de l'Association de la Presse, la comptabilité de la Western Union et la salle à manger des employés.

Le 9e étage comprenait les cuisines et les logements des cuisiniers.

Le 10e étage servait aux archives de la compagnie et à d'autres usages.

Les fils entraient dans le bâtiment par la cave, au nombre de 2.000, et allaient à la salle de manipulation par des câbles de 50 à 100 conducteurs qui traversaient des tuyaux disposés dans le mur central de refend du bâtiment.

L'incendie fut aperçu simultanément au 6e et au 7e étage et se propagea avec une telle rapidité, qu'une partie du personnel dut s'échapper par les fenêtres et sur les toits.

Pendant que les pompes inondaient les bâtiments, les employés étaient dirigés sur tous les bureaux suburbains pour y couper les fils et écouler le travail dans les meilleures conditions possibles.

Avant l'extinction du feu, une partie du personnel technique fut dirigée sur l'ancien bureau central de l'ex-compagnie *Baltimore and Ohio Telegraph Co*, situé dans la même rue où l'on s'occupa d'établir une communication avec le réseau extérieur, à l'aide d'une dynamo servant à l'éclairage électrique et disposée dans une cave.

Des câbles furent posés et reliés avec ceux de la grande ligne du chemin de fer aérien de la sixième avenue; la dynamo installée dans la cave fut mise en marche et à sept heures du soir, après sept heures de travail, on mettait les premiers fils en service.

Le samedi matin, il y avait 20 fils en pleine exploi-

tation et le samedi soir, des lampes électriques alimentées par la dynamo de la cave remplacèrent les bougies et les lanternes qu'il avait fallu employer la veille.

Le dimanche matin, une seconde dynamo était en marche et fournissait un courant de sens inverse à celui de la première, et 12 systèmes duplex furent installés.

Dans la matinée du lundi, il y avait déjà en service 15 circuits duplex et 25 circuits simples allant dans les diverses directions.

L'incendie a éclaté le jour où les employés touchaient leur solde hebdomadaire, ce qui n'empêcha pas la compagnie de payer tous les mandats dans le courant de la journée.

L'intérieur du bâtiment présentait un tableau impossible à décrire. Tout ce qui pouvait brûler au-dessus du 5ᵉ étage avait été la proie des flammes, et de la salle des appareils il ne restait plus rien.

Le magnifique commutateur n'était plus qu'une masse de laiton fondu et il eut été aussi difficile de retrouver un fil dans cet entrelacement de conducteurs tordus que de suivre un fil dans une toile d'araignée brisée.

Cependant, dès le lendemain de l'incendie, il régnait une grande activité au milieu des ruines. Le 5ᵉ et le 4ᵉ étages furent évacués par les habitants, et une armée d'ouvriers se mit à y installer des commutateurs, à monter des tables, à assembler les appareils et à poser les fils.

La conduite venant de la cave a été coupée à la hauteur du 4ᵉ étage et on a procédé au travail de reconnaissance de 2.000 fils. Les tubes pneumatiques

ont été ouverts dans la cave où l'on a installé provisoirement le service.

Le samedi suivant, c'est-à-dire huit jours après l'incendie, presque tous les fils interrompus avaient été réinstallés au bureau central; on put abandonner la salle provisoire de la *Baltimore and Ohio Telegraph.*

Une des principales difficultés de cette réinstallation a été le manque d'appareils convenables et pendant un certain temps le service technique a été très embarrassé pour fournir des appareils dont il n'avait pas de réserve suffisante et qui étaient indispensables au moment même. Les agents de ce service firent des prodiges; les transmetteurs inverseurs, qui utilisaient les courants fournis par les dynamos, furent remplacés par des manipulateurs à courant de pile qu'on a dû modifier; les résistances proportionnelles des quadruplex ont été remplacées par des lampes à incandescence jusqu'à ce qu'il fût possible de trouver des bobines de résistance convenable.

Malgré toutes ces imperfections on est arrivé, grâce à une surveillance constante, à vaincre en partie les irrégularités de réception en duplex et en quadruplex.

L'absence de chambre des piles constituait encore une autre difficulté; on ne disposait d'aucune pièce susceptible d'être affectée à cet usage. On y remédia en se servant de l'élément à la soude caustique de De Lalande et Edison qui, étant à faible résistance, donne la faculté de desservir avec une même pile 8 à 10 circuits.

Chaque série d'appareils en quadruplex possède cinq circuits de pile locale employant ordinairement 10 éléments à densité; on a reconnu que 4 éléments à la soude caustique suffisaient pour desservir les cir-

cuits locaux de 2 installations en quadruplex, ce qui réalisait une économie de 16 éléments ou de 80 p. 100 dans la salle des piles. On obtint une réduction analogue dans les piles locales des circuits embrochés de la ville, dont plusieurs furent alimentés par une même pile. Les 20.000 éléments employés avant l'incendie furent ainsi remplacés par 1.750 autres.

Depuis plusieurs années, le courant desservant les principaux circuits de New-York, était fourni par une dynamo. Un potentiel de 70 volts, réglé par un système de résistances groupées en multiple était affecté au service des fils locaux embrochés. Un moteur de la force de 1/8 de cheval, actionné par le courant qui sert à l'éclairage à incandescence du bâtiment, tourne à la vitesse de 2.200 tours par minute, et actionne un générateur de même dimension et à peu près de même vitesse, donnant un courant d'une force électromotrice de 100 volts environ, suffisant pour tous les usages des piles de relais. L'économie de place est d'environ 40 pieds carrés pour chaque pile intermédiaire.

Une autre difficulté d'emplacement a été soulevée par la question du logement des lampes à incandescence intercalées entre les piles et les fils desservis par celles-ci. Une résistance formée de 1 à 5 lampes à incandescence prévient les dangers pouvant résulter d'un court circuit accidentel. Or, il faut, pour les divers commutateurs de ligne, 5.000 de ces lampes occupant une superficie de 104 pieds carrés.

Le problème fut résolu en disposant les lampes sur un cadre placé au-dessus du commutateur. On a réalisé ainsi deux avantages en ce sens que l'on a utilisé un emplacement sans usage et, en second lieu, l'agent chargé des fils se rend compte de ce qui s'y passe en

surveillant ses lampes et peut empêcher que les appareils en circuit ne soient surchauffés et détruits.

Pour les courants destinés aux appareils multiples, on a utilisé l'espace disponible sur les châssis des portes et des fenêtres, et les lampes qui s'y trouvent servent d'avertisseurs aux employés qui travaillent sur ces installations. Avant cet arrangement, il était fréquent de voir des électro-aimants brûlés par accident sur les circuits très chargés.

Depuis que l'on a adopté ce nouveau système, on n'a pas encore entendu parler de la destruction d'une seule bobine.

Lors de l'inauguration de la salle des appareils, il y a 17 ans, on supposait qu'elle suffirait, dans toute hypothèse, aux besoins du service de la compagnie, mais le rapide développement du trafic avait bientôt fait reconnaître qu'elle était trop petite.

Quelque temps avant l'incendie un fonctionnaire supérieur de la compagnie avait déclaré qu'il ne voyait pas comment on pourrait faire le service dans la saison d'été dans un espace aussi restreint et que dans un an ce serait complètement impossible. Après le désastre qui rendit sans objet ces craintes légitimes, on décida de reconstruire le bâtiment à partir du 5e et de l'étendre de 25 pieds en façade. On peut dire en toute assurance que, lorsqu'il sera terminé, ce sera le plus beau bureau télégraphique du monde et le mieux installé.

Le nouveau bâtiment aura neuf étages. Au 6e on aménagera les bureaux des divers services, au 7e et au 8e, on installera les salles de manipulation, tandis que le 9e sera occupé par le vestiaire, les restaurants, la cuisine, etc.

Les salles de manipulation occuperont plus du double de l'espace qu'elles avaient avant l'incendie, on les aménagera de manière que le service s'y fasse dans les meilleures conditions. Douze dynamos, groupées en trois séries de quatre, fourniront le courant pour les fils de grandes lignes, deux séries seront en service en même temps et la troisième servira de rechange. Deux dynamos, de faible voltage, donneront le courant pour les circuits locaux; l'une d'elles sera en service et l'autre en réserve. Deux autres dynamos, dont l'une en réserve, sont destinées à alimenter les circuits urbains installés en multiplex et les circuits locaux, et l'on aura autant de moteurs de la force de 1/8 de cheval et autant de générateurs qu'il faut de piles intermédiaires. Cette installation télégraphique ne contiendra aucune pile à action chimique, dont l'emploi n'a plus raison d'être.

En fait, les mesures prises soit à titre temporaire, soit à titre définitif après l'incendie, ont attiré l'attention sur toutes les ressources que les progrès de la science électrique mettaient à la disposition de la télégraphie et l'exploitation courante bénéficiera certainement de l'effort considérable provoqué par le désastre, Il ne faut pas, cependant, oublier que c'est à des essais datant déjà de loin et poursuivis par les différentes administrations télégraphiques et entre autres la *Western Union Telegraph C*[y] elle-même qu'on a dû de pouvoir y remédier aussi rapidement. Pour ne parler que du service français, nous rappellerons deux tentatives remontant à 1884 et 1887.

En 1884, le poste central de Paris expérimentait la pile à oxyde de cuivre et à potasse caustique de MM. Chaperon et de Lalande que la *Western Union* em-

ploya tout d'abord l'an dernier en remplacement des 20.000 éléments à densité qu'elle possédait avant le désastre.

44 éléments à oxyde de cuivre, occupant une superficie d'un mètre carré, étaient montés en échelle d'Amsterdam, de telle sorte que la force électro-motrice totale atteignait $24^{volts},65$ et la résistance intérieure 9 ohms.

Cette batterie remplaça avantageusement un groupe Callaud composé de deux cents éléments à grande surface occupant cinq mètres carrés et demi et dont la force électromo-trice était de $21^{volts},40$ et la résistance de 13 ohms.

L'économie d'emplacement était de 82 p. 100 environ.

Cette pile a alimenté 119 lignes métropolitaines et de banlieue pendant huit mois sans donner lieu à aucune plainte.

Une autre tentative heureuse fut faite à la même époque dans le but de desservir des lignes de 250 à 300 kilomètres.

En 1887 un projet d'un autre genre, présenté par M. Picard, commis au poste central, était mis en exploitation.

Une machine Gramme, type d'atelier, donnait un courant de 15 ampères avec 100 volts aux bornes sur une résistance extérieure de $6^{ohms},5$.

Les prises de pile étaient greffées en des points différents de cette résistance suivant les longueurs des lignes à desservir.

Cette dynamo fournissait des courants aux quarante-trois postes d'un groupe ordinaire d'éléments qui devenait ainsi groupe de réserve dans le cas d'un arrêt accidentel de la machine.

En ce moment même, une batterie de 65 accumulateurs système Laurent Cély, en expérience, assure le service de 150 lignes de toutes longueurs.

Ces différents essais, tous satisfaisants, montrent que, au poste central de Paris, comme à New-York, il serait facile, à l'occasion, de réunir les moyens d'action qui ne laisseraient place à aucune interruption prolongée du service.

Il est, bien entendu, plus facile encore de redoubler de surveillance et de prévenir une catastrophe semblable à celle qui a frappé la *Western Union telegraph C°*.

MAURIVA.

DONNÉES RELATIVES

AUX

COEFFICIENTS D'INDUCTION ÉLECTRO-MAGNÉTIQUE

L'importance du rôle joué par l'induction électromagnétique dans l'étude des courants variables a été signalée à plusieurs reprises dans ce recueil, et nous avons publié des données numériques relatives aux coefficients d'induction mutuelle et de self-induction des appareils les plus usuels en télégraphie et en téléphonie (*). Les mesures d'induction ne sont point encore entrées dans la pratique courante de l'industrie électrique, et les chiffres publiés sont très rares. Il y a donc intérêt pour contrôler les données que nous possédons, à les comparer avec les résultats d'expériences entreprises dans d'autres pays. C'est à ce titre que nous publions les articles ci-après, faits au point de vue américain. Nous n'avons pas à défendre ici la décision prise par le Congrès international des électriciens, réuni à Paris en 1889, qui a choisi le mot *quadrant* pour désigner l'unité pratique de *coefficient d'in-*

(*) *Annales télégraphiques : Méthodes de mesure d'induction*, 1885, p. 223-237. — *Self-induction des conducteurs*, 1886, p. 305-322. — *Données numériques relatives aux coefficients d'induction*, 1886, p. 520-546. — *Effets nuisibles des extra-courants*, 1888, p. 289-312. — *Mesures de self-induction et d'induction mutuelle de lignes télégraphiques*, 1890, p. 499-507.

duction ou, comme disent les Anglais et les Américains, l'unité pratique d'*inductance*. Comme on le verra ci-après, au lieu de se soumettre à cette décision, aux États-Unis, on a remplacé le mot *quadrant* par le nom de Henry, pour honorer la mémoire d'un savant électricien de ce pays.

On remarquera que, d'après M. Kennelly, aucune mesure de coefficients d'induction n'a été faite jusqu'ici sur les lignes électriques aux États-Unis. Les chiffres publiés par M. Massin, dans les *Annales télégraphiques*, paraissent être les premiers que l'on possède, ce qui leur donne un intérêt tout particulier. Il est vivement à désirer que des mesures de ce genre soient entreprises dans divers pays sur des lignes de toute nature.

(*Comité de rédaction.*)

L'UNITÉ D'INDUCTANCE « HENRY ».

On a dit bien des fois que la science moderne s'encombrait d'unités, tout particulièrement dans sa section d'électricité. Toutefois, il suffit de réfléchir à l'importance d'étalons bien définis et à la généralité de leur emploi, aussi bien dans la pratique réelle que dans les discussions théoriques, pour apprécier non seulement leur utilité, mais encore leur nécessité absolue.

Les grands progrès accomplis dans les machines à courant alternatif et les nombreux travaux qui sont basés sur ces études ont fait, depuis longtemps, reconnaître l'utilité d'une unité d'inductance. C'est ce qu'a fait le Congrès de Paris, mais il lui a donné le nom de « quadrant » qui ne rentre pas dans le cadre des désignations usitées jusque-là pour les unités élec-

triques pour lesquelles on a adopté les noms des grands électriciens : on a donc eu raison de proposer le mot « Henry », qui a été appuyé par l'Association américaine des ingénieurs électriciens et qui a déjà été accepté et vulgarisé par plusieurs auteurs qui ont écrit sur ces questions.

DE L'INDUCTANCE ET DE SON UNITÉ « HENRY ».

Par M. A.-E. KENNELLY (*).

. . . .

Si nous examinons le côté historique de la question, nous constatons qu'avant 1887, les mesures d'inductance et les conséquences qu'on en a tirées étaient limitées à des travaux scientifiques et exprimées en unités absolues, en centimètres. A cette époque, MM. Ayrton et Perry ont lu, à la Société des ingénieurs électriciens anglais (avril 1887, vol. XVI, p. 291 du journal de la Société), un mémoire rédigé avec la collaboration de M. Sumpner, et dans lequel ils proposaient l'adoption d'un nom provisoire pour désigner l'unité pratique, savoir : secohm (contraction de seconde et ohm), indiquant par là que le produit de ces deux quantités était une longueur égale à l'unité pratique. Ces messieurs ont fait remarquer que, puisque le Congrès de Paris 1884 avait admis que le type d'étalon légal de l'ohm était une colonne de mercure à 0°C, de 106 centimètres de long et de 1 millimètre carré de section, tandis que sa valeur réelle est très probablement de $106^{cm},3$, c'est-à-dire de 1/4 de 1 p. 100 plus grande, les inductances mesurées par le procédé indiqué au

(*) Mémoire lu, le 16 décembre 1890, à la 52e assemblée de la Société des ingénieurs électriciens d'Amérique.

moyen de secondes et d'ohms légaux seraient exprimées non pas en fonction du quadrant type de 10.000 kilomètres, mais du quadrant légal de 9.778 kilomètres de longueur. Pratiquement parlant, la différence n'est pas grande, mais pour éviter toute erreur ou confusion dans les définitions, ces messieurs ont proposé de remplacer le mot quadrant par secohm. Le Congrès de Paris de 1889 a adopté le quadrant comme unité pratique d'inductance équivalant à 1.000 millions de centimètres.

Les limites entre lesquelles varie l'inductance ne sont dépassées que par celles des résistances que nous connaissons depuis quelques microhms jusqu'à des milliers de mégohms. Les plus petites inductances sont celles des résonnateurs de Hertz qui sont de l'ordre des mètres; si nous n'en tenons pas compte, nous trouvons alors que les plus petites inductances sont celles des appareils de mesure où elles peuvent être négligées tels que les bobines de résistance à double enroulement, les voltmètres de Cardew et autres analogues qui sont de l'ordre des décamètres et peuvent généralement être exprimées sans indication de décimales. Il est évident que l'expression « microhenry » conviendrait parfaitement pour leur désignation.

A l'autre extrémité de l'échelle, nous trouvons de fortes machines d'induction, pourvues de champs intenses, d'un grand nombre de tours de fil, et dont l'inductance atteint des centaines et même des milliers de henrys. Entre ces limites, il y a une classe nombreuse de circuits ayant beaucoup de tours de fil mais peu de fer, ou garnies de fer, mais ayant peu de tours de fil et qui pourront parfaitement être désignés par l'expression « millihenry » équivalente au myriamètre.

En vue d'exposer tous les avantages résultant de cette nomenclature, nous l'adopterons provisoirement dans la description des mesures suivantes faites sur divers types d'appareils, à différentes époques et par plusieurs méthodes, et qui représentent, par conséquent, les moyennes d'un certain nombre d'observations, mais en tenant compte des variations d'étalon et de type.

Télégraphie. — L'inductance d'un relais de 140 ohms de la Western Union est d'environ 3 henrys, lorsque l'armature est bien détachée et 9 henrys lorsqu'elle est au contact des pôles. Il est évident que, dans ce dernier cas, la répulsion magnétique du circuit en fer est aussi faible que possible et que le passage du même courant dans les bobines produit trois fois autant de lignes dans le fer. Lorsque l'armature est dans la position du réglage ordinaire, l'inductance est de 5 henrys environ.

L'inductance d'un relais type ordinaire de 10 ohms est de 200 à 500 millihenrys, selon la position de l'armature par rapport aux pôles.

L'inductance d'un parleur ordinaire est dans les mêmes conditions, de 25 à 50 millihenrys.

Ces valeurs ont été obtenues avec un courant de quelques milliampères seulement dans les bobines et, comme l'induction se manifeste principalement dans le fer, l'inductance varie avec l'énergie du courant employé. Toutefois, dans la pratique, ces modifications sont faibles en raison des limites entre lesquelles varie le courant qui fait fonctionner les appareils.

Télégraphie sous-marine. — L'inductance du galvanomètre à miroir du type ordinaire ayant 2.250 ohms de résistance a été trouvée égale à 3,6 henrys.

Téléphonie. — Les inductances constatées sur les appareils téléphoniques ordinaires à longue distance sont :

Sonnerie de 80 ohms : 1,4 henrys.

Armature magnéto de 550 ohms : de 2,7 henrys, lorsque le plan de la bobine est sur la ligne qui joint les pôles, de 7,3 henrys lorsque le noyau de fer est sur les pôles, position où le plan de la bobine est à angle droit avec le flux magnétique.

Bobine primaire d'induction de 0,28 ohms : 3,5 henrys.

Bobine secondaire de 164 ohms : 734 henrys.

Inductance mutuelle entre les bobines : 60 millihenrys.

Le récepteur téléphonique Bell de 75 ohms a de 75 à 100 millihenrys. L'enlèvement du diaphragme du téléphone ordinaire de ce type réduit l'inductance à 35 p. 100 environ.

Toutes ces inductances sont relatives à des courants de quelques milliampères seulement.

On n'a pas encore déterminé l'inductance sur des fils aériens parce que ces expériences présentent certaines difficultés en raison de la capacité statique et de l'imperfection de l'isolement. Faute de mesures directes, la théorie indique que l'inductance du fil de cuivre aérien dépend de son élévation au-dessus du sol, aussi bien que de son diamètre. Dans le cas des fils de fer employés en télégraphie, il faut encore tenir compte de la perméabilité du fer.

Le tableau suivant des inductances des fils de cuivre est basé sur une formule, donnée pour la première fois par Clerk Maxwell (*). Nous espérons que l'on aura

(*) Clerk Maxwell, *Electricity and Magnetism*, 2e édition, vol. I p. 293.

prochainement des résultats d'expériences corroborant ces indications.

Tableau des inductances des fils aériens en cuivre, par kilomètre, pour divers diamètres et hauteurs au-dessus du sol.

DIAMÈTRE du fil en centimètres	HAUTEUR AU-DESSUS DU SOL			
	400 cent	700 cent.	1.000 cent.	1.300 cent.
	Millihenrys par kilomètre de longueur			
0,10	1.986	2.109	2.170	2.222
0,20	1 848	1.960	2.031	2.083
0,30	1.766	1.878	1.950	2.002
0,40	1.709	1.821	1 892	1.945
0,50	1.661	1.776	1.847	1.900
0,60	1.628	1.740	1.811	1.863
0,70	1.596	1.709	1.780	1.833
0,80	1.570	1.682	1.754	1.806
0,90	1.547	1.659	1.730	1.783
1,00	1.526	1.638	1.709	1.761

Faute de mesures, il est douteux que l'inductance des fils de fer vienne justifier les calculs, elle est peut-être dix fois plus forte que celle des fils de cuivre, dans les mêmes conditions. Le grand obstacle à vaincre consiste dans la difficulté d'indiquer la valeur exacte de la perméabilité.

Lumière électrique et transport de force. — Les dynamos sont généralement caractérisées par de fortes inductances.

Les inductances des électro-aimants du champ d'une dynamo peuvent avoir des valeurs dépendant des dimensions et du voltage de la machine, et variant de 1 à 900 henrys. L'inductance d'une armature peut de même varier de 20 millihenrys à 50 henrys entre les balais. Un millihenry est une bonne valeur moyenne pour l'inductance d'une section de l'armature. Les inductances de l'armature dépendent non seulement de

l'intensité du courant de mesure, mais encore de l'énergie du champ et de tout ce qui peut influencer la perméabilité du noyau.

L'inductance d'un transformateur de courant alternatif varie depuis une bobine primaire de 400 millihenrys et un enroulement secondaire de 1 millihenry jusqu'à des valeurs correspondantes peut-être 100 fois plus grandes et 20 millihenrys d'inductance mutuelle pour un rapport de transformation de 20.

Appareils. Inductance des bobines de Ruhmkorff. — La plus petite bobine employée aux usages médicaux a 5 millihenrys à l'enroulement primaire, 100 millihenrys aux spires secondaires et 20 millihenrys d'inductance mutuelle.

Une grande bobine d'induction de 19 pouces de long, 8 pouces de diamètre a 0,145 ohms et 13 millihenrys dans ses spires primaires, 30.600 ohms et 2.000 millihenrys (par deux mesures concordantes) dans ses spires secondaires et 163 henrys d'inductance mutuelle.

L'inductance d'un galvanomètre à miroir varie entre quelques millihenrys et 10 henrys et au delà suivant sa résistance. 2 henrys sont une bonne moyenne pour un galvanomètre astatique à miroir de 5.000 ohms.

Une sonnerie électrique de 2,5 ohms de résistance a été reconnue avoir une inductance de 12 millihenrys.

Il y a une question, relative à la self-inductance et à l'inductance mutuelle des bobines d'induction et des transformateurs, qui mérite d'être signalée, parce qu'elle occasionne fréquemment des confusions. Donnons un exemple numérique à ce sujet. Supposons un anneau fermé de Faraday ayant 100 centimètres de circonférence et 20 centimètres carrés de section, en-

touré de 2.500 tours serrés de fil formant une seule couche et suivi d'une autre couche de 7.500 tours, constituant la bobine secondaire. Si l'on maintient dans les spires primaires un courant de 2 ampères, la force magnétique développée dans le fer sera $\frac{4\pi}{10}$ fois le nombre d'ampère-tours par centimètre du circuit de fer ou

$$\frac{4\pi}{10} \times 2 \times 2{,}500 : 100 \quad \text{ou} \quad 62{,}85.$$

Supposons que la perméabilité du fer forgé de ces dimensions soit 250, l'induction développée par centimètre carré sera 250 × 62,85 on 15.713 lignes de force; et, si l'on ne tient pas compte de l'espace occupé par le fil même, l'induction totale dans la bobine primaire sera 20 × 15.713 soit 314.250 lignes qui traversent les deux enroulements. Les croisements de ces lignes avec les spires primaires seront de 2.500 × 314.250 ou en chiffres ronds 786 millions et moitié moins nombreux pour 1 ampère, soit une inductance de 393 millions de centimètres ou de 393 millihenrys. De même, les croisements de ces lignes avec les spires secondaires seront de 2.358 millions, ou 1.179 millions de centimètres d'inductance mutuelle, soit 1.179 henrys par ampère de courant primaire. Supposons maintenant qu'on interrompe le courant primaire et qu'on fasse passer dans les spires secondaires un courant constant suffisant pour produire le même effet magnétique dans le fer, ce qui évite l'inconvénient de modifier la perméabilité. Comme ces spires sont 3 fois plus nombreuses, le courant qui réalisera cet effet sera de 2/3 d'un ampère. L'induction totale dans le fer sera la même que précédemment et,

par conséquent, on aura le même nombre d'intersection. La self-inductance de l'enroulement secondaire sera de 2.358 millions : 2/3 ou 3.537 millions de centimètres, soit 3.537 henrys. De même, l'inductance mutuelle sera de 786 millions : 2/3 ou 1.179 henrys, comme ci-dessus. En faisant le calcul avec une exactitude suffisante, on verra que cette induction mutuelle de 1.179 est la racine carrée du produit des deux self-inductances $0,393 \times 3.537$.

En suivant la marche de ce calcul, on reconnaît que cette proposition s'applique à tous les circuits magnétiques fermés uniformément aimantés au même degré, lorsqu'on ne tient pas compte de l'espace occupé par les spires. En cas contraire, lorsqu'on a des noyaux en fer ouverts ou de petite longueur, avec de grands espaces réservés à l'enroulement, on ne se trouve généralement plus dans les mêmes conditions et l'inductance mutuelle sera plus grande ou plus petite que la racine carrée du produit des deux inductances.

. . . .

La *constante de temps* d'un circuit d'inductance (rapport de l'inductance du circuit à sa résistance) est généralement faible, parce qu'une bobine de grande inductance a ordinairement beaucoup de tours de fil et, par conséquent, une grande résistance, de sorte que le rapport définitif du nombre d'henrys au nombre d'ohms est peu considérable. Par exemple, la constante de temps d'un téléphone Bell, supposé en court circuit, est, d'après les mesures données ci-dessus, d'environ 0,09 : 75 ou 0,0012 secondes, et par conséquent une force électro-motrice constante de 2 volts, par exemple, appliquée directement à ce téléphone, produirait, dans cet intervalle de temps, 63,2 p. 100 de 2/75 ampères,

soit 169 milliampères. En ajoutant au circuit une résistance sans inductance et en élevant proportionnellement la force électromotrice, on diminuerait la constante de temps et on accélérerait l'arrivée du courant. Strictement parlant, ce raisonnement est inexact puisque la bobine téléphonique entoure le fer, mais avec les petits courants dont on se sert ordinairement, il est probable que le fer n'influe pas beaucoup sur la courbe d'arrivée. Dans le cas des électro-aimants du champ d'une dynamo et en général de celles qui sont garnies de fer et qui ont de fortes inductances, il y a une divergence considérable entre la courbe d'arrivée et celle d'un simple circuit électro-magnétique correspondant.

Il y a plusieurs méthodes pour mesurer la self-inductance et l'inductance mutuelle. On choisit d'après la grandeur de la quantité à déterminer et sa nature. Le secohmmètre ou commutateur double à révolution d'Ayrton et Perry est celui qui est le plus généralement employé. On peut s'en servir avec un condensateur étalon, une inductance type ou un changement apparent de résistance et de vitesse. Lorsqu'on l'utilise dans le pont de Wheatstone, il ne peut forcément alterner que des courants d'intensité limitée.

Pour les petites inductances, inférieures à 1/10 de millihenry, il est sans doute préférable d'employer la méthode du professeur Hughes (*), ou la modification proposée par lord Rayleigh, dans laquelle on se sert de deux bobines de mutuelle inductance et d'un téléphone comme appareil d'observation.

Les bobines d'induction ont généralement la forme de

(*) Voir *Annales télégraphiques*, 1886, p. 305.

deux anneaux concentriques dont l'un, situé à l'intérieur, peut tourner autour d'un axe vertical commun. L'inductance mutuelle de ce couple de bobines est une fonction complexe des dimensions et de l'angle des plans que l'on peut faire occuper aux bobines. Il est d'usage de calibrer l'instrument au moyen de mesures séparées de l'inductance sous des angles différents. Toutefois, il y a une disposition plus simple pour l'inductance mutuelle, c'est un court solénoïde placé dans le circuit du pont et sur le même axe qu'un long solénoïde, intercalé dans le circuit de la pile. Pour régler le téléphone de manière à ce qu'il ne parle pas sous l'influence des interruptions de courant, on intercale dans le circuit du pont un nombre plus ou moins grand de tours du solénoïde extérieur. Dans ces conditions, l'inductance mutuelle est très approximativement proportionnelle au nombre de tours ainsi intercalés et avec une exactitude aussi grande que le permet le récepteur téléphonique.

Pour la mesure de l'inductance dans les bobines des machines en fer, on se sert fréquemment du galvanomètre balistique, soit par la méthode de la décharge pour les self-inductances; soit par celle de la quantité induite pour les inductances mutuelles.

La mesure des inductances mutuelles reliées par des circuits fermés en fer ne présentent pas de difficultés lorsqu'on n'exige pas une grande exactitude, tandis que, comme nous l'avons dit, on peut calculer les self-inductances lorsqu'on connaît l'inductance mutuelle et le nombre de tours des bobines. Mais il est bien plus difficile de mesurer la self-inductance de l'électro-aimant du champ d'une dynamo lorsque l'armature est enlevée et lorsque les courants excitateurs de force

normale sont utilisés pour la mesure. Le meilleur système essayé paraît être celui où l'on observe les effets de décharge de quelques variations graduelles d'un courant énergique passant par la bobine, dans un circuit où l'on a intercalé un pont de Wheatstone d'une disposition spéciale (*). Mais s'il y avait une importance pratique à mesurer ces inductances avec des courants puissants, on pourrait essayer l'emploi d'un enregistreur, muni d'une pointe très légère et à mouvements rapides, laissant une trace de son passage sur un papier mobile, comme dans le siphon recorder de sir William Thomson. Si cet indicateur était disposé de manière à se déplacer à angle droit par rapport à la bande de papier et à avoir une amplitude de mouvement proportionnelle au courant qui traverse la bobine, il enregistrerait la courbe de décharge, si la bobine était placée en court circuit, comme il a été dit ci-dessus. Sur une échelle suffisamment agrandie, corrigée peut-être pour l'inertie résiduelle des parties mobiles, cette courbe donnerait non seulement la quantité totale de la décharge, mais sa déviation de la ligne logarithmique de la décharge électro-magnétique simple permettrait de déterminer la caractéristique de l'aimantation dans le fer.

(*) *Phil. Mag.*, février 1889. Dr Sumpner.

CHRONIQUE.

Les câbles sous-marins. Une industrie nouvelle introduite en France.

La Société générale des téléphones (*), privée en 1889 de l'exploitation des réseaux téléphoniques qu'elle avait installés en France, et auxquels elle avait su donner une si vigoureuse impulsion, s'est engagée, depuis deux ans, dans l'étude et la mise en pratique d'une industrie nouvelle pour la France, celle des câbles sous-marins.

La Société des téléphones fabriquait depuis longtemps, à Bezons, des âmes pour les câbles sous-marins côtiers, que l'État faisait armer dans sa petite usine à réparations de la Seyne. Quand l'occasion se présenta propice pour un premier essai — celui du câble de la Martinique à la Guadeloupe, longueur 100 milles marins environ — la Société des téléphones la saisit avec empressement. Ce câble, qui réussit parfaitement, fut posé en janvier 1890.

Malgré les difficultés de transport et de transbordement, ce câble, qui dut être porté au Havre par chaland, embarqué sur bateau allemand — car aucun Anglais ne voulut s'en charger — pour Halifax, déposé sur le quai, rechargé sur le vapeur français le *Pouyer-Quertier*, ce câble servit d'expérience utile à l'usine de Bezons. On croyait si peu en France à la réussite de cette tentative que, contrairement à ce qui se fit en Italie, ou même en Angleterre, lors des premiers câbles, aucun représentant de l'État ne suivit l'opération.

Peut-être ignorait-on même qu'elle dût avoir lieu.

Ce premier succès décida de l'industrie nouvelle; on recon-

(*) Nous rappelons ici que les fournisseurs ordinaires de l'Administration pour les câbles sous gutta sont, indépendamment de la Société des téléphones : MM. E.-C. Grammont, à Pont-de-Chérui (Isère); Menier, à Paris, et G. Smith, à Persan-Beaumont (Seine-et-Oise). (N. D. L. R.)

nut que l'emplacement de Bezons-sur-Seine était peu convenable; les difficultés de la crue, de la baisse des eaux, les chômages de l'été et les glaces de l'hiver, rendaient les transports trop aléatoires. Après de nombreuses recherches et études on se décida pour Calais. Le nouveau port d'accès si aisé, le bassin Carnot, avec sa grande profondeur, supérieure à 8 mètres, le prix du terrain, la facilité d'approvisionnement en charbon anglais, belge ou français, la main-d'œuvre abondante dans le Nord, le caractère sérieux de la race, furent autant d'arguments qui décidèrent du choix. La situation de l'usine dans une place fort importante était aussi à considérer.

A Calais on était, à tous les points de vue, placé au moins aussi bien que les Anglais; on avait, de plus, sur eux l'avantage du bassin à flot; les courants de la Tamise, au moment des marées, rendent parfois réellement critique la situation des gros vapeurs en chargement.

Le port de Calais choisi, le terrain acheté en août 1890, il fallait construire l'usine. Les études furent rapidement menées et les commandes de machines données aux constructeurs. Les chaudières furent fournies par MM. Weyher et Richemond, les machines (trois de 90 chevaux) par M. V. Brasseur, de Lille, ainsi que les transmissions.

Les machines spéciales d'armature des câbles furent commandées en Angleterre. Les délais furent rigoureusement stipulés, et tout fut si bien prévu et assuré, que — fait bien audacieux — à la date même où la Société générale des téléphones achetait le terrain de sa nouvelle usine, elle acceptait une commande de 8 millions de francs de câbles sous-marins (réseau Cayenne-Brésil et Martinique-Cayenne), à livrer moitié en mars et moitié en juin 1891.

En huit mois (mai-décembre), la coquette usine était en pleine fièvre de fabrication. A la date où nous écrivons, la première partie de la commande est exécutée, et dans quelques jours aura lieu l'embarquement sur le vapeur destiné à la pose.

. . . .

Dans la manufacture des câbles, à Calais, les âmes sont fabriquées et essayées à Bezons, où le matériel et l'installation permettent une production supérieure à 600 milles marins par

mois. Les âmes sont expédiées à Calais par wagons et sous-bobines de route plombées, protégées contre le soleil et les chocs.

Des essais électriques très sérieux, souvent répétés, sont faits avant le départ sur chaque bobine qui porte une longueur de 3 milles marins sans soudure aucune.

Dès l'arrivée des wagons dans l'usine de Calais, les bobines sont mises sous l'eau dans un vaste magasin qui, par cuves distinctes contenant douze bobines chacune, peut loger l'approvisionnement de six semaines, soit 800 milles marins. Quatre cuves isolées, dont la température peut être à volonté maintenue à 12 ou 24°, servent aux essais électriques recommencés encore deux fois à Calais, d'abord à l'arrivée des bobines, puis à leur mise en fabrication. Ces essais ne sont jamais interrompus : un service d'électriciens travaillant jour et nuit, comme l'usine, suit d'une façon continue l'isolement, la capacité et la résistance électrique des câbles. Une véritable comptabilité, très bien comprise, permet de comparer le câble à lui-même et de suivre ses variations, depuis l'usine de Bezons jusqu'au lovage en cuve du câble terminé. Les joints et soudures sont l'objet de soins tout spéciaux : ce sont les points faibles de la ligne sous-marine. Leurs variations sont surveillées et enregistrées avant l'armature.

Le laboratoire des essais est certainement ce qu'il y a de plus ingénieux à Calais. Non seulement la marche et l'arrêt des machines sont enregistrés électriquement, mais la continuité des signaux et leur instantanéité sont telles qu'un défaut, un accident survenu au câble, sur la machine à armer, est découvert et signalé automatiquement avant que le câble blessé soit sorti des 30 mètres qui représentent la longueur de la machine.

Les bobines d'âmes sont chaque jour réparties entre les machines à recouvrir de filin tanné, et une fois recouvertes de leur double couche enroulée en sens inverse, elles sont lovées dans les cuves qui desservent les machines à armer. Après son passage sur ces dernières, le câble est lové dans des cuves immenses ayant 10 mètres de diamètre, construites en béton aggloméré.

L'usine à câbles sous-marins de la Société des téléphones

est, comme toute usine neuve où l'on n'a pas été gêné par le terrain, très méthodiquement et très largement installée. Les matières ne reviennent jamais sur leurs pas. En arrière des machines sont les générateurs, l'atelier de réparations, les dynamos donnant l'éclairage et la force motrice électrique aux magasins. Cinq travées de 14 mètres de portée, de 70 mètres de long, forment l'atelier principal auquel elles donnent un aspect grandiose. On n'a pas cherché l'effet ni le luxe, mais on a obtenu les deux, comme dans certaines galeries de l'Exposition universelle de 1889, par le sentiment du vrai et de l'utilité qui se dégage de cette salle couverte de 5.000 mètres superficiels.

La production moyenne de l'usine est calculée pour 500 milles marins par mois, c'est-à-dire qu'un câble transatlantique donnerait à peine pour six mois de travail à l'usine. Mais se figure-t-on ce qu'il faut d'approvisionnement pour une telle puissance de production?

Le câble de 1.000 milles marins actuellement lové dans quelques-unes des cuves de l'usine (chaque cuve pouvant contenir environ 250 milles) a absorbé les matières suivantes en chiffres approchés :

Ame (cuivre et gutta)	130.000	kilogr.
Filin et jutes divers	400.000	—
Fils d'acier	1 000.000	—
Compositions bitumeuses et goudron	400.000	—
Total	1.930.000	kilogr.

L'usine emploie actuellement environ 300 ouvriers travaillant nuit et jour; sur ce nombre et ne travaillant que le jour, il y a 50 femmes qui mettent sur bobine le filin ou le jute.

. . . .

Quand le câble fabriqué et lové doit être repris pour être mis à bord du navire qui doit le poser, des treuils placés sur le pont et mus par l'électricité, comme tous les treuils de l'usine, appellent le câble pour le faire passer des cuves de terre dans celles du bord. La distance de l'usine au bassin Carnot est de 150 mètres. Deux solutions se présentaient pour la franchir. Passer au-dessus des voies du nord, à 10 mètres en l'air, exigeait des supports, exposait aux intempéries, vent,

neige et aux accidents. La Société des téléphones a préféré adopter la solution du tunnel et passer sous tous les obstacles sans gêner ni être gênée : elle est chez elle, l'entrée du tunnel se trouvant dans l'usine et la sortie débouchant à quelques mètres du navire en charge. La galerie souterraine, de forme ovoïde de $1^{m},50$ de hauteur, peut renfermer 3 câbles à la fois arrivant jusqu'au navire sur des rouleaux en fonte suspendus à la voûte. Elle contient, en outre, les lignes de transmissions électriques et téléphoniques reliant l'usine aux cuves du bord. (*Génie civil*, 14 mars 1891.)

Variations de conductibilité sous diverses influences électriques.

Note de M. Edouard Branly.

Dans un certain nombre d'expériences j'ai pris comme conducteur une couche très mince de cuivre porphyrisé (*), étendue sur une lame rectangulaire de verre dépoli ou d'ébonite de 7 centimètres de longueur et 2 centimètres de largeur. Cette couche, polie avec un brunissoir, prend une résistance qui peut varier de quelques ohms à plusieurs millions pour un même poids de métal. La communication avec un circuit est établie par deux étroites bandes de cuivre, parallèles aux petits côtés du rectangle de la lame et appliquées au moyen d'une vis à mouvement lent. Quand on soulève les deux bandes de cuivre, la lame se trouve entièrement isolée de toute communication.

J'ai employé aussi comme conducteurs de fines limailles métalliques, de fer, aluminium, antimoine, cadmium, zinc, bismuth, etc., quelquefois mêlées à des liquides isolants. La limaille est versée dans un tube de verre ou d'ébonite, où elle est comprise entre deux tiges métalliques.

Si l'on forme un circuit comprenant un élément Daniell, un galvanomètre à long fil et le conducteur métallique, plaque d'ébonite cuivrée ou tube à limaille, il ne passe le plus souvent qu'un courant insignifiant; mais il y a une diminution brusque de résistance accusée par une forte déviation, quand on vient à produire dans le voisinage du circuit une ou plu-

(*) J'ajoute quelquefois un peu d'étain qui facilite l'adhérence.

sieurs décharges électriques. Je fais usage, à cet effet, soit d'une petite machine de Wimshurst, avec ou sans condensateur, soit d'une bobine de Ruhmkorff, soit de l'excitateur qui m'a servi dans l'étude des déperditions positive et négative par la lumière (*Comptes rendus*, séances des 8 et 26 avril 1890). L'action diminue quand la distance augmente, mais elle s'observe très aisément et sans précautions spéciales à quelques mètres de distance. En faisant usage du pont de Wheatstone, j'ai pu constater cette action à plus de 20 mètres, alors que l'appareil à étincelles fonctionnait dans une salle séparée du galvanomètre et du pont par trois grandes pièces et que le bruit des étincelles ne pouvait être perçu.

Les variations de résistance sont considérables avec les conducteurs que j'ai cités; elles sont, par exemple, de plusieurs millions d'ohms à 2.000 ou même à 100, de 150.000 à 500 ohms, de 50 à 35, etc. La diminution n'est pas passagère, elle persiste parfois plus de vingt-quatre heures. Dans un premier examen du phénomène, je n'ai pas suivi les modifications de la substance sensible abandonnée à elle-même après l'action de l'étincelle.

Voici un autre mode d'expérimentation qui confirme les résultats du précédent. Les électrodes d'un électromètre capillaire sont reliées aux deux pôles d'un élément Daniell à sulfate de cadmium. Le déplacement du mercure, qui a lieu quand on ouvre la clé à court circuit, ne se produit plus que très lentement quand on intercale entre l'un des pôles de l'élément et l'électrode correspondante de l'électromètre une plaque d'ébonite cuivrée très résistante. Mais, quand on fait jaillir les étincelles de l'excitateur, le mercure est vivement lancé dans le tube capillaire, par suite de la diminution brusque de résistance de la plaque (*).

L'examen des conditions à remplir pour produire le phénomène et la recherche de sa cause m'ont conduit aux résultats suivants :

(*) Quelques substances présentent une augmentation de résistance par l'étincelle; tels sont le verre platiné du commerce, le verre argenté par le procédé Martin, l'ébonite couverte d'enduits spéciaux. Ces substances étaient incomparablement moins sensibles que l'ébonite cuivrée et les limailles. Les particularités qu'elles ont offertes ne peuvent trouver place dans ce court résumé.

1° Pour que l'action ait lieu, il n'est pas nécessaire que le circuit soit fermé. Après avoir essayé des lames et les avoir reconnues très résistantes, j'ai soulevé les bandes de cuivre du serrage et j'ai ainsi isolé complètement les lames pendant l'étincelle; en les replaçant ensuite dans le circuit fermé du Daniell et du galvanomètre, on voyait que l'effet avait eu lieu. Toutefois, la diminution de résistance se produit mieux si la lame, bien qu'en circuit ouvert, est reliée par ses extrémités à des fils conducteurs.

2° Le passage d'un courant induit dans la substance sensible produit le même effet qu'une étincelle à distance.

Dans le fil inducteur de l'appareil à chariot de Dubois-Reymond, on fait passer un courant. Le circuit induit comprend la bobine induite, un tube à limaille, un élément Daniell et un galvanomètre. On ferme, puis on ouvre le circuit inducteur. Il suffit, en général, d'une seule fermeture ou d'une seule ouverture pour permettre au courant de l'élément de Daniell de traverser très facilement la limaille. Avec un courant inducteur de 1/10 d'ampère, une seule ouverture suffisait encore, tandis que la fermeture ne produisait pas toujours la diminution cherchée. Pendant la fermeture et l'ouverture du circuit inducteur, le circuit induit peut rester interrompu, la plaque n'en est pas moins modifiée.

3° On prend une bobine d'induction à deux fils égaux. Dans l'un passe un courant inducteur. L'autre fil forme un circuit fermé avec un tube à limaille et un galvanomètre. On s'est assuré, avant d'intercaler la limaille, que les deux courants d'ouverture et de fermeture donnaient des déviations égales et opposées de l'aiguille du galvanomètre. La limaille étant introduite dans le circuit induit, on ferme et on ouvre le circuit inducteur à intervalles réguliers. Quelques nombres montreront de quelle façon le passage des deux courants induits fait varier graduellement la résistance de la limaille :

Limaille de zinc.	1re fermeture. . .	1	1re ouverture. . .	— 18
	2e — . . .	64	2e — . . .	— 100
	3e — . . .	146	3e — . . .	— 140
Limaille d'aluminium	1re fermeture. . .	1	1re ouverture. . .	— 5
	2e — . . .	40	2e — . . .	— 47
	3e — . . .	59	3e — . . .	— 61

Ces déviations ont été obtenues avec une bobine sans noyau. Avec un noyau de fer doux et le même courant inducteur, les nombres successifs étaient sensiblement égaux, sauf celui de la première fermeture qui était plus petit.

4° En opérant avec des courants continus, le passage d'un courant fort rend la substance sensible plus apte à transmettre un courant faible.

On forme un circuit comprenant une pile, la substance sensible et un galvanomètre. La force électromotrice de la pile est d'abord 1 volt, puis 100 volts et enfin 1 volt. Voici des déviations dues au courant de 1 volt avant et après le passage du courant de 100 volts :

	Avant le passage	Après le passage
Première plaque d'ébonite cuivrée. . .	16	100
Deuxième — — . . .	0	15
Limaille de fer.	1	500

Notons, en terminant, que dans tous ces essais l'emploi des plaques d'ébonite recouvertes de cuivre ou de mélanges de cuivre et d'étain était moins commode que l'emploi des limailles; en effet avec les plaques cuivrées, je n'ai pas réussi à rétablir à volonté la résistance primitive après l'action de l'étincelle ou après l'action d'un courant, tandis que, avec les tubes à limailles, on supprime à peu près complètement la variation de résistance par divers procédés, notamment en frappant quelques petits coups secs sur la tablette qui supporte le tube (*).

(*Comptes rendus du* 24 *novembre* 1890).

Recherches sur la conductibilité de quelques métaux et alliages.

Jusqu'à ces derniers temps, le maillechort a été l'alliage le plus fréquemment employé à la construction des boîtes de résistances, en raison de sa faible conductibilité. Depuis quel-

(*) Je dois remercier M. Gendron du zèle avec lequel il m'a assisté dans ces recherches.

ques années, d'autres alliages d'une résistance spécifique beaucoup plus grande ont été introduits dans l'industrie. On peut citer parmi eux l'acier manganifère de Hadfield, le cuivre arsénieux, etc.

M. Mordey, électricien de la compagnie Brush, à Londres, a publié récemment le résultat de diverses mesures faites au laboratoire de cette Société, sur des échantillons de plusieurs métaux et alliages. Voici les valeurs des résistances spécifiques trouvées, celle du cuivre étant prise pour unité :

Cuivre	1,00
Fer doux	5,27
Laiton étiré	6,05
Maillechort	8,88
Acier de cordes à piano	16,00
Platinoïde	20,00
Cuivre arsénieux	28,50
Acier manganifère de Hadfield	37,10

Les variations de résistance sous l'influence de la température ont été déterminées en mesurant la résistance du fil à étudier lorsqu'il était placé dans un bain d'huile chauffé à des températures variant de 20° en 20° Fahrenheit. Les valeurs du coefficient de variation par degré centigrade sont les suivantes :

Platinoïde	0,044
Cuivre arsénieux	0,061
Maillechort	0,080
Laiton étiré	0,164
Acier manganifère de Hadfield	0,229
Cuivre	0,396
Acier de cordes à piano	0,517
Fer doux	0,691

(*Bulletin international.*)

Rapport entre l'unité électro-magnétique et l'unité électrostatique.

M. Pellat expose les recherches qu'il a faites pour déterminer le rapport entre l'unité électro-magnétique et l'unité électrostatique d'électricité (v de Maxwell). En 1887, à l'époque où ces recherches ont commencé, il n'existait que des détermina-

tions assez peu précises de cette grandeur : c'est ce qui a engagé l'auteur à faire ce travail.

Le rapport qui existe entre l'unité électro-magnétique et l'unité électrostatique d'électricité est le même, comme il est facile de le voir, que le rapport du nombre qui exprime en unités électro-magnétiques une différence de potentiel à celui qui exprime cette même différence en unités électrostatiques. C'est ce dernier rapport que M. Pellat a mesuré.

En vertu de la relation d'ohm ($e = ir$), la mesure absolue en unités électro-magnétiques a été ramenée à la mesure absolue d'une résistance (r) et à celle d'un courant (i); cette dernière mesure a été obtenue au moyen de l'électrodynamomètre absolu de M. Pellat. Pour la mesure de résistance, on a admis que l'ohm vrai était les $\frac{106,3}{106}$ de l'ohm légal. Enfin la mesure en unités électrostatiques a été faite avec l'électromètre absolu de Sir W. Thomson. Voici la description de la méthode employée.

Le courant fourni par une pile (A) de plusieurs centaines de petits éléments passe dans une grande résistance (R) composée de n résistances égales ($R' = 100.000^{\omega}$). La différence de potentiel aux extrémités d'une de ces résistances R' était opposée à la force électromotrice d'une pile (B) de treize éléments Latimer Clark. La compensation, observée au moyen d'un électromètre capillaire, était produite et maintenue exactement en ajoutant ou retranchant, à l'aide d'un commutateur convenable, soit quelques éléments, soit une faction d'élément à la pile A. Cette opération, dont un aide était chargé, assurait la constance du courant de la pile A pendant les mesures; la différence de potentiel aux extrémités de la résistance R, qui était mesurée à l'électromètre Thomson, valait ainsi exactement n fois la force électromotrice (E) de la pile B. Pour obtenir E, on comparait par opposition chacun des treize éléments de B avec un latimer-clark étalon (T) pourvu d'un thermomètre, en complétant la légère différence par une dérivation prise sur un courant et en se servant d'un électromètre capillaire très sensible. Enfin la force électromotrice de l'élément T, donnée d'après sa température dans chaque expérience, était déterminée en valeur absolue de temps en temps

(tous les trois mois environ) de la manière suivante. L'élément T était opposé à la différence de potentiel produite aux extrémités d'une résistance (r) par le passage d'un courant (i), mesuré au moyen de l'électrodynamomètre absolu; la compensation observée au moyen d'un électromètre capillaire très sensible était obtenue et maintenue au moyen d'un rhéostat placé dans le circuit du courant (i); cette opération, dont un aide était chargé, assurait l'invariabilité du courant (i) pendant la mesure à l'électrodynamomètre. La résistance (r), en fil nu, était placée dans un bain de pétrole dont la température, rendue uniforme par l'agitation, était mesurée; cette résistance a été, à plusieurs reprises, comparée aux étalons mercuriels de M. Benoît. La relation $e = ir$ fournissait la force électromotrice (e) de l'élément T.

La mesure à l'électromètre absolu se faisait en alternant, à l'aide d'un commutateur soigneusement isolé, les communications entre les extrémités de la résistance R et soit le plateau attractif soit l'armature extérieure de la bouteille de Leyde de l'électromètre. De cette façon, le déplacement du plateau attractif mesurait le double de la force électromotrice (nE) existant aux extrémités de la résistance R. En croisant ainsi les expériences à des intervalles égaux (30 secondes), on éliminait l'erreur due à la déperdition, très faible du reste, de la bouteille de Leyde. Chaque détermination comprenait de dix à vingt expériences croisées.

Après une étude de la disposition expérimentale, qui a duré plus de trois ans, deux séries définitives d'expériences ont été effectuées. La première (mai-juin 1890), comprenant vingt déterminations, a été faite en employant une résistance R d'un mégohm, aux extrémités de laquelle se trouvait une différence de potentiels de 189 volts; elle a donné comme résultat $v = 3.0093 \times 10^{10}$. La seconde (octobre-décembre), comprenant trente-trois déterminations, a été faite en employant comme résistance R deux méghoms, aux extrémités de laquelle se trouvait une différence de potentiel double de la précédente (378 volts); elle a donné sensiblement le même résultat ($v = 3.0091 \times 10^{10}$).

Ce nombre 3.009×10^{10} ne diffère que de $\frac{1}{600}$ du nombre

trouvé par M. Cornu pour la vitesse de la lumière (3.004×10^{10}); or l'électromètre Thomson, tel qu'il est construit, ne permet pas une précision absolue supérieure à $\frac{1}{500}$ (les autres causes d'erreurs sont à peu près négligeables vis-à-vis des erreurs de la mesure électrométrique). Il est, du reste, sensiblement d'accord avec les nombres 3.009×10^{10} (Himstedt, 1888), 3.004×10^{10} (W. Thomson, 1889), 3.000×10^{10} (Rosa, 1889). Le v de Maxwell ne diffère donc pas de la vitesse de la lumière.

Ces expériences ont été faites à l'École Polytechnique, dans le laboratoire de M. Potier.

Les câbles télégraphiques et téléphoniques dans le tunnel du Saint-Gothard.

Aussitôt après le percement du tunnel du Saint-Gothard, l'Administration générale des télégraphes avait fait poser pendant l'hiver 1881-1882 un câble à sept fils pour le service télégraphique de l'État et de la Compagnie. En outre, un second câble à un fil avait été posé ensuite pour le service des signaux à sonneries du tunnel installées dans les quatorze guérites kilométriques du tunnel.

Le câble principal, fourni par la maison Felten et Guillaume, de Mulheim-sur-Rhin, consiste en sept âmes de sept brins de $0^{mm},7$ chacun; chaque âme est isolée par quatre couches de gutta-percha et de composition Chatterton, et a alors un diamètre de $5^{mm},2$. Le tout est ensuite entouré de chanvre goudronné et armé d'une enveloppe de fil de fer galvanisé, puis recouvert de rubans de jute de 3 millimètres d'épaisseur.

Après examen des lieux, on plaça le câble dans une rigole en fer fixée à $2^{m},40$ de hauteur le long des parois du tunnel, puis on recouvrit le tout de planches goudronnées. Le total des frais d'installation s'éleva à 15.900 francs.

Malgré l'excellente qualité des câbles et les soins avec lesquels ils furent posés, des inconvénients sérieux ne tardèrent pas à se faire jour. L'isolement de 3.000 mégohms par kilomètre descendit quelquefois à 5 mégohms seulement et il en résulta fréquemment des dérangements dans le service.

Un examen approfondi de la situation montra quelles étaient les causes de cet état anormal des câbles. Ces causes se reproduisant dans tous les tunnels de quelque importance, il nous a paru intéressant de les analyser avec soin et c'est pour cela que nous rendons compte du rapport de M. Baechtold (*), inspecteur des télégraphes de la Compagnie du Gothard, rapport dont ces particularités forment la partie la plus saillante.

Les eaux d'infiltration sont très abondantes dans le tunnel; il s'en écoule à peu près 300 litres par seconde. Disons en passant qu'à la sortie du tunnel ces eaux d'infiltration servent à alimenter, sous une chute de 15 mètres, une turbine qui actionne deux dynamos alimentant l'éclairage électrique de la gare et du village d'Airolo. L'application est assez intéressante pour être notée.

La maison Siemens et Halske, adjudicataire du nouveau câble, a fait analyser 150 bouteilles d'eau d'infiltration puisée en divers endroits du tunnel.

Plusieurs de ces échantillons contenaient de l'hydrogène sulfureux en quantités considérables. En outre, l'examen des eaux croupissant dans la rigole du câble montra qu'elles renfermaient tous les éléments propres à favoriser une attaque rapide de l'armature du câble; ces éléments sont produits par la combustion incomplète de la houille des locomotives dans l'atmosphère peu oxygénée du tunnel; ils ont d'ailleurs une influence très nuisible sur la superstructure de la voie.

Ces analyses montrèrent donc le danger qu'il y avait à placer les câbles dans des rigoles disposées le long des parois et permirent de tirer la conclusion que le meilleur procédé était de placer les câbles dans un lit de sable, dans le sous-sol du tunnel, de manière à les soustraire à l'action destructive des eaux et de l'atmosphère du tunnel. Il est évident qu'il faut avoir soin de capter et de détourner les sources qui jaillissent du sol en quelques points du tunnel, d'autant plus que plusieurs de ces sources sont légèrement sulfureuses. Il est en outre prudent d'entourer le câble d'une enveloppe de plomb complètement imperméable et de recouvrir le câble de pierres plates solides.

(*) *Elektrotechnische Zeitschrift*, 1891, p. 85 et 98.

La Compagnie du chemin de fer du Gothard a donc commandé à la maison Siemens deux câbles dont les éléments étaient déterminés par les exigences du trafic aussi bien que par les considérations précédentes. Le premier câble est un câble télégraphique à trois âmes, le second un câble téléphonique à un circuit concentrique construit afin de remédier à l'encombrement du câble primitif, devenu insuffisant et dont l'administration télégraphique réclamait l'usage exclusif.

Voici les éléments de ces deux câbles :

Le câble télégraphique comprend trois âmes formées chacune par un seul fil de cuivre pur de $1^{mm},38$ de diamètre recouvert de trois couches de jute jusqu'à un diamètre total de $4^{mm},4$ et d'une chemise de plomb de $1^{mm},3$ d'épaisseur. Les trois âmes sont cordées ensemble et le tout recouvert d'une enveloppe de papier et d'asphalte, puis armé de vingt fils de fer galvanisé de $3^{mm},75$ de diamètre. Le diamètre extérieur de ce câble est de 33 millimètres, il est livré en bobines de 500 mètres. Quant aux constantes électriques elles sont, par kilomètre, à 16° centigrades.

Résistance.	11,5 à 12 ohms.
Isolement.	500 mégohms.
Capacité.	0,25 microfarad.

Le câble téléphonique renferme une âme formée d'un fil intérieur de 1 millimètre enroulé de jute jusqu'à un diamètre de $2^{mm},5$. Le tout est recouvert ensuite d'une couche de sept fils de cuivre de $0^{mm},4$ réunis métalliquement entre eux par des feuilles de papier d'étain.

L'ensemble est ensuite entouré de jute ($4^{mm},4$ de diamètre) et recouvert de sa chemise de plomb de $1^{mm},3$ d'épaisseur. Le diamètre extérieur de l'âme est alors de 7 millimètres. Une couche de papier et d'asphalte protège encore le câble, armé en outre de seize fils de fer galvanisé de $3^{mm},1$ de diamètre, recouverts eux-mêmes d'un enduit à base d'asphalte. Les éléments du câble sont alors, à 15° :

Diamètre extérieur	24 millimètres.
Résistance kilométrique.	0,25 ohm.
Isolement kilométrique	250 mégohms.
Capacité.	0,31 microfarad.

Le câble téléphonique est relié aux 14 guérites kilométriques du tunnel et aux stations extrêmes de Gœschen et d'Airolo, qui seules sont munies d'une station micro-téléphonique complète, les postes intermédiaires étant pourvus simplement d'un appareil à deux téléphones, transmetteurs et récepteurs.

Pour poser le câble, on creusa sur le bord de la voie un fossé profond de 50 à 80 centimètres suivant les circonstances; on mit au fond une couche de gravier de 10 centimètres d'épaisseur, puis une couche de sable de 10 centimètres, les câbles, une couche de sable de 20 centimètres, un couvercle de granit, enfin du gravier. De cette manière, les câbles sont à l'abri de l'air et de l'humidité.

Le travail dura deux mois entiers, du 15 septembre au milieu de novembre de l'année dernière; on ne pouvait travailler que la nuit, entre les passages des trains. En outre, le déplacement de l'ancien câble, transporté de la rigole latérale dans le fossé perméable, devait se faire sans interrompre le service et par conséquent sans le couper.

Toutes ces difficultés, auxquelles il faut joindre l'atmosphère empestée du tunnel, le courant d'air violent qui y règne du nord au sud, ont prolongé ce travail si important et dont l'exécution n'a pas nécessité moins de 500 wagons de sable, 250 de pierres plates, 32 de câbles, 500 de débris, etc.

Pour les autres détails techniques du travail, ainsi que pour le règlement de l'exploitation, nous renvoyons le lecteur au rapport détaillé de M. Baechtold.

(*La Lumière électrique*, 23 mai 1891.)

Le papier employé comme matière isolante pour la lumière électrique et les fils téléphoniques.

On lit dans un journal de New-York :

L'un des progrès les plus importants en matière d'isolement des câbles destinés à recevoir de puissants courants de lumière électrique a été réalisé il y a trois ou quatre ans. On a essayé



de nombreuses matières qui ont été trouvées plus ou moins défectueuses.

Les conditions mécaniques et électriques requises aujourd'hui pour un conducteur de 10.000 volts sont excessives. Il faut que le câble soit léger et flexible; qu'il soit assez fort pour résister à la tension, à l'usure et à la détérioration que produisent l'enroulement et le déroulement, ainsi que la traction à travers des conduites encombrées, sans exposer la matière isolante à être endommagée. L'isolement doit être élevé à des températures normales, de manière à ne pas tomber trop bas si on l'expose à une très forte chaleur; il faut en outre qu'il puisse conserver son pouvoir d'empêcher une rupture même lorsque l'isolement est descendu très bas par suite de cette exposition.

La *Norwich Insulated wire Company*, de New-York, prétend que ces conditions sont absolument remplies par ses câbles, grâce à l'emploi du papier comme isolateur. Cette compagnie travaille nuit et jour pour faire face aux demandes de câbles qu'elle reçoit, lesquelles s'appliquent principalement au câble plombé fil n° 6 B et S, diamètre extérieur 5/8 de pouce. On pose en ce moment 25 milles de ce câble dans New-York seulement, et on en a posé plus de 30 milles à Chicago, tandis que des commandes ont été exécutées pour l'Angleterre, la France et l'Allemagne, y compris un très gros câble concentrique Ferranti de 10.000 volts, sectionné. La compagnie n'a pas encore reçu une seule plainte de rupture, bien que ses câbles aient été posés et soudés par les ouvriers ordinaires des câbles des compagnies d'éclairage, qui les soudent à leur manière, la compagnie estimant qu'il est inutile de leur recommander une méthode spéciale quelconque.

Le procédé de fabrication est très simple, mais il exige beaucoup de soins et de surveillance. Le papier est fabriqué tout exprès pour la compagnie par l'une des plus grandes fabriques du pays, et il est nécessaire de le conserver comme le bois pour devenir propre à l'usage. Il est formé en rouleaux d'un demi-mille à cinq milles de longueur et pèse de 20 à 90 livres par rame. La première opération consiste à le couper par bandes au moyen de cisailles circulaires. Ces bandes sont enroulées sur des madrins proportionnés aux machines d'enroulement, qui, tournant avec une vitesse de 60 à 500 tours

par minute, suivant la dimension du conducteur, enroulent le papier sur ce dernier en forme de spirales.

Comme à chaque spirale posée, on passe le câble à travers un moule très juste, il en résulte que l'enveloppe est très dure, dense, compacte et flexible, fort difficile à endommager ou à enlever; en même temps le diamètre est excessivement uniforme. Les couches de papier en forme de spirales sont posées alternativement dans des directions contraires.

Lorsque l'enveloppe a atteint l'épaisseur voulue, le câble est enroulé sur des bobines de fer et placé dans des fours à sécher, où on l'expose à une température d'environ 250° F., jusqu'à ce que toute trace d'humidité ait disparu. Ensuite, pendant qu'il est chaud, il est immergé dans un composé, qui est maintenu à une chaleur de 270° à 280° F. au moyen de cylindres à vapeur pendant un laps de temps qui dépend de l'épaisseur de la couche isolante ou autres conditions électriques. La nature de ce composé est un profond secret. On le fait ensuite passer directement des réservoirs dans la presse hydraulique qui applique l'enveloppe de plomb. La machine à l'aide de laquelle on pose le plomb sur le câble sur une longueur continue, a été dessinée et construite d'après les brevets de M. G. Draper-Bishop, l'ingénieur électricien de la compagnie.

Puis on expérimente les câbles, lorsqu'il est nécessaire, à un potentiel de 2.500 volts pour l'isolement, aussi bien que pour la conductibilité et la capacité.

L'isolement est toujours élevé; il excède toujours 2.000 mégohms à 75° F.

Quelques-uns des résultats donnés par ces câbles sont remarquables. Des longueurs de 1.000 pieds ont été soumises à l'une des plus grandes compagnies d'éclairage électrique dans le but de faire l'expérience de les rompre. Ils ont résisté avec succès à une tension de près de 10.000 volts, et ils sont finalement restés intacts. Le câble a ensuite été placé dans de l'*eau bouillante* et tenu immergé pendant *quarante-huit* heures. Étant encore dans le réservoir, il résistait à un potentiel de près de 8.000 volts avant de céder.

L'un des avantages les plus importants que possèdent ces câbles, c'est que, quel que soit le mauvais traitement auquel

on soumette le câble, même en détruisant le plomb et en rompant l'isolement, le conducteur restera toujours absolument concentrique. L'isolement est uniforme sur la moindre partie de sa longueur tout entière, et il ne peut, par suite d'accident de fabrication ou de tout traitement ultérieur, devenir plus mince d'un côté que de l'autre, ou, en d'autres termes, excentrique.

La *Norwich Insulated wire Company* a également fabriqué une quantité considérable de câbles téléphoniques, plus de 5.000 milles de conducteurs étant posés à New-York seulement. La capacité de ces câbles (fabriqués d'après la spécification type de la conférence), a été réduite durant l'année dernière de 0,22 microfarads à moins de 0,08 microfarads par mille.

La compagnie a agrandi récemment ses ateliers de manière à fabriquer un mille par jour de ce câble. Sa dernière entreprise est la fabrication de fils isolés au moyen du papier pour l'éclairage par incandescence et relier les bureaux.

(Extrait du *Telegraphic Journal and Electrical Review*, de Londres. — Traduit par M. Flaissière).

Gérant : Vᵉ Dunod. — Paris. — Imp. C. Marpon et E. Flammarion, rue Racine, 26.

ANNALES
TÉLÉGRAPHIQUES

Année 1891 **Septembre-Octobre**

SUR
LES INSTALLATIONS DES POSTES TÉLÉPHONIQUES

Dans la description que j'ai donnée du bitéléphone, dans le dernier numéro des *Annales télégraphiques* j'ai été amené à parler de l'installation de cet appareil sur les microphones existants (p. 309).

Il est certain que dans le cas où le bitéléphone prendra la place des deux téléphones ordinaires, ce récepteur se comportera aussi bien que les téléphones qu'il a remplacés, quelle que soit la distance pratique à laquelle on téléphone, qu'il s'agisse de la téléphonie urbaine, de la téléphonie interurbaine, ou de la téléphonie à grande distance.

Mais si, disposant un bitéléphone sur un microphone, on laisse aussi dans le circuit un ou deux téléphones ordinaires, on pouvait prévoir qu'on se trouverait dans des conditions relativement défavorables, puisqu'on augmentait la résistance électrique dans chacun des deux postes.



J'ai été amené à faire une série d'expériences à ce sujet, sur des lignes artificielles représentant une ligne souterraine urbaine, une ligne interurbaine et une ligne à grande distance, et je me suis efforcé de rester constamment dans des conditions pratiques : j'ai surtout considéré comme une condition *indispensable*, que la correspondance téléphonique doit être une véritable conversation, au cours de laquelle les deux opérateurs doivent pouvoir se couper à chaque instant.

Deux téléphones ordinaires étant installés sur un microphone quelconque, on peut enlever l'un d'eux, — celui de gauche, par exemple, — et le remplacer par un bitéléphone. Mais on peut placer le téléphone de gauche qu'on vient d'enlever, à côté de celui de droite, on aurait ainsi, dans le circuit du poste, deux téléphones ordinaires et le bitéléphone.

Occupons-nous seulement du 1er cas, où l'on a dans le circuit du poste le bitéléphone et un téléphone ordinaire. Les raisonnements s'appliqueraient à plus forte raison au 2e cas, puisqu'on augmenterait la résistance de chaque poste de celle d'un téléphone ordinaire, soit 200 ohms environ.

Pour représenter ce qui se passe dans le service urbain, j'ai opéré sur des lignes souterraines de 20 kilomètres, analogues à celles du réseau téléphonique de Paris. Pour le service interurbain, les lignes se composaient de 10 kilomètres de ligne souterraine représentant la partie urbaine, et 200 kilomètres de ligne aérienne de fil de fer ou 400 kilomètres de fil de bronze. Pour le service à grande distance, les lignes comprenaient 10 kilomètres de ligne souterraine et 400 kilomètres de ligne aérienne en fil de fer, ou 800 kilomètres de fil de bronze. J'utilisais, à cet effet, des lignes arti-

ficielles construites par M. de Branville, du système de Branville et Anizan (*).

I. SERVICE URBAIN.

Prenons comme exemple, un microphone d'Arsonval A. Nous aurons en T un téléphone ordinaire, et en B un bitéléphone. Les deux petits téléphones composant le bitéléphone, sont disposés en série. La *fig.* 1 représente une vue de la partie postérieure du microphone d'Arsonval.

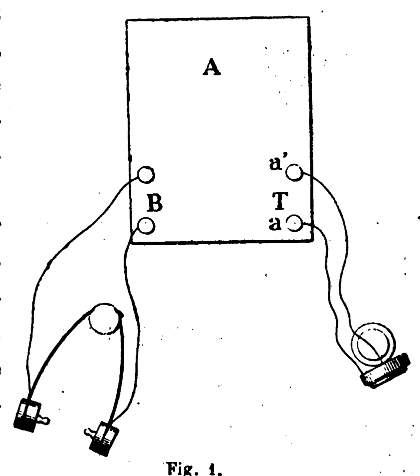


Fig. 1.

Si on opère sur une ligne souterraine de 20 kilomètres, et si on écoute dans le bitéléphone avec le dispositif représenté par la *fig.* 1, on constate qu'on entend aussi bien ainsi, que lorsque le bitéléphone est monté *seul* sur le microphone, à la place des deux téléphones ordinaires.

Si on représente schématiquement le circuit téléphonique complet (*fig.* 2), on voit que chaque poste se compose d'une bobine d'induction I, soit 200 ohms environ, d'un bitéléphone B dont la résistance est de 300 ohms, et d'un téléphone T d'une résistance de 200 ohms.

(*) *La Lumière électrique* du 6 juin 1891.

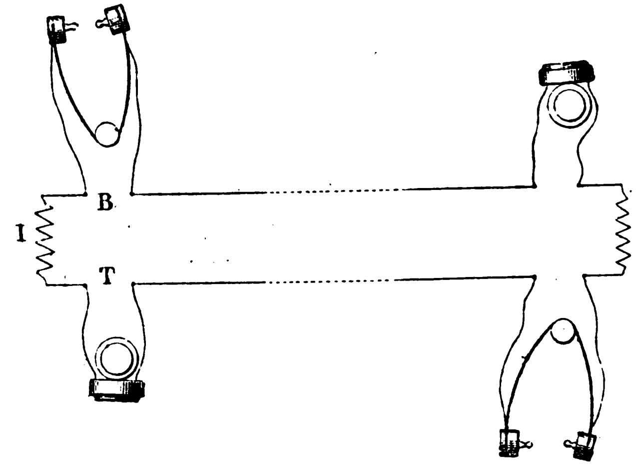


Fig. 2.

La résistance totale des deux postes est donc de 1.400 ohms.

II. SERVICE INTERURBAIN.

En répétant l'expérience précédente sur une ligne téléphonique du service interurbain, on remarque qu'on a intérêt à supprimer du circuit le téléphone ordinaire.

A cet effet, (*fig.* 3) on fait communiquer les bornes *a*, *a'* auxquelles sont fixées les communications du téléphone T, aux plots métalliques *p*, *p'* disposés sur la tranche de droite de l'appareil. Une manette métallique M, permet d'établir un court circuit entre les bornes *a* et *a'*, et de supprimer ainsi du circuit téléphonique la résistance du téléphone T.

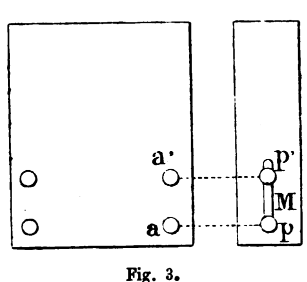


Fig. 3.

Lorsque un poste téléphonique devra être utilisé éventuellement pour le service urbain ou le service interurbain, la manette M pourra rester ouverte pour toutes les opérations du service urbain. On aura intérêt à fermer la manette pour la conversation interurbaine. Un oubli à cet égard n'empêcherait d'ailleurs pas une réception suffisante.

Lorsque la manette est fermée pour la conversation interurbaine, la résistance de chaque poste est réduite de 200 ohms, ainsi que l'indique le schéma de la *fig.* 4, dans lequel le gros trait *pp'* représente la manette M.

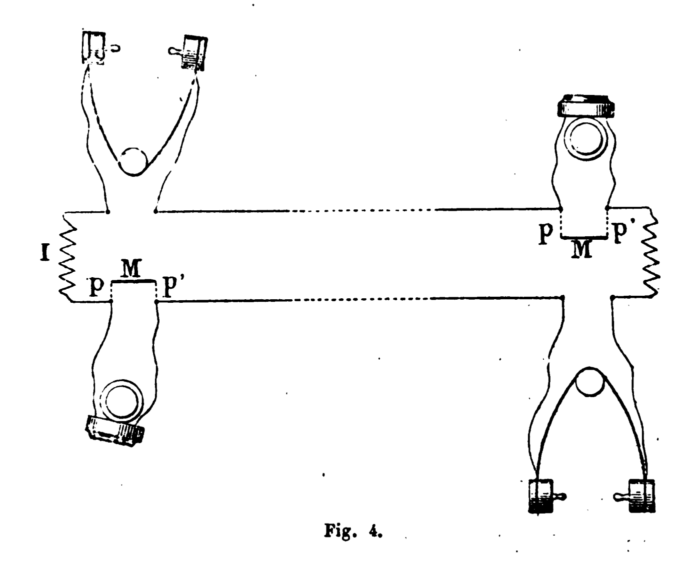


Fig. 4.

La résistance totale des deux postes est donc ramenée à 1.000 ohms, au lieu de 1.400.

III. SERVICE A GRANDE DISTANCE.

Même installation que pour le service interurbain,

la manette M restant constamment fermée, comme l'indique la *fig*. 6.

De plus, le bitéléphone de chaque poste est muni d'une communication prise à la boucle de l'un des petits téléphones, ainsi que l'indique la *fig*. 5.

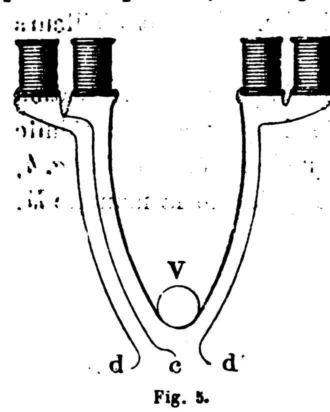


Fig. 5.

Lorsque les électro-aimants du bitéléphone sont monopolaires, cette communication est prise à la demi-longueur du fil de la bobine.

Le bitéléphone avec sa résistance totale (300 ω) est intercalé dans le circuit au moyen des conducteurs *dd'*, le fil *c* étant isolé. En substituant dans le circuit téléphonique la communication *dc* à *dd'* on ramène la résistance du bitéléphone au quart, soit 75 ohms.

Or, l'expérience démontre que *ce dispositif suffit pour entendre à de grandes distances des interruptions énergiques, des allô, par exemple.*

On dispose sur la tranche de gauche du microphone, une manette M' (*fig*. 6), analogue à celle M qui lui est symétrique, mais se manœuvrant sur deux plots, l'un *r* de réception, l'autre *t* de transmission. On fait communiquer M' avec *d'*, *r* avec *i* et *t* avec *c*.

Alors : 1° pour la transmission, on met la manette M' sur le plot *t*, et on réduit ainsi la résistance du poste transmetteur à 275 ohms. En effet en suivant sur la *fig*. 6, on voit qu'on a alors dans le circuit la bobine d'induction I, soit 200 ohms, et la communica-

tion *dc* du bitéléphone : 75 ohms ; le reste étant en court circuit. Nous avons vu qu'avec cette résistance minimum, on pouvait être coupé par son correspondant.

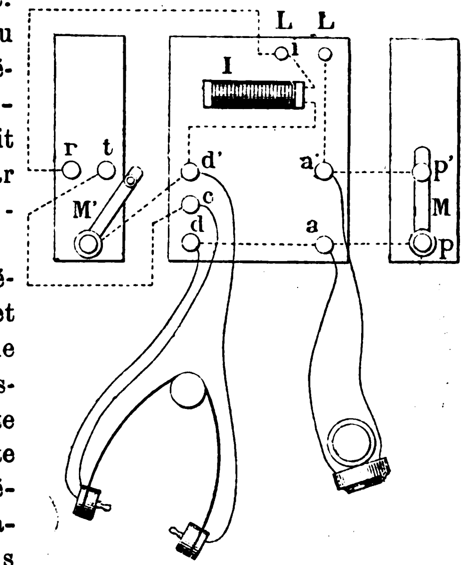


Fig. 6.

2° Pour la réception, on met la manette sur le plot *r*, la résistance du poste est ainsi réduite à celle du bitéléphone, c'est-à-dire à 300 ohms seulement. Lorsque celui qui reçoit voudra répondre ou couper son correspondant, il devra faire passer la manette de la position de réception *r* à la position de transmission *t*.

Il est à remarquer que ces manœuvres simples et pratiques sont d'autant plus faciles, lorsqu'on se sert du bitéléphone, qu'on a les deux mains libres : que la main gauche suffit pour assurer la manœuvre de la manette M', la main droite restant libre pour écrire au besoin.

Le schéma de la *fig.* 7 permet d'évaluer plus clairement la réduction de la résistance dans les deux postes. Dans la poste qui transmet, nous avons dans le circuit téléphonique, le fil secondaire de la bobine d'induction I (200 ω) et la communication *cd* du bitéléphone (75 ω) soit en tout 275 ohms.

Dans le poste qui reçoit, nous ne trouvons dans le circuit que le bitéléphone, soit 300 ohms.

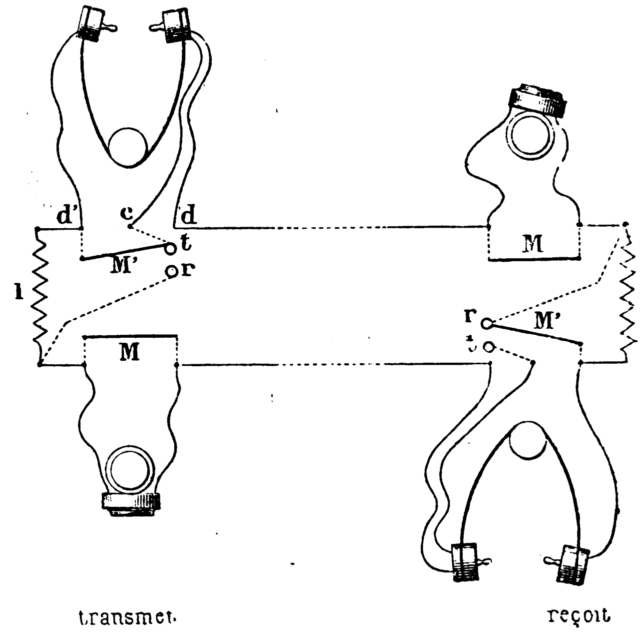


Fig. 7.

La résistance pour l'ensemble des deux postes est donc de 575 ohms, au lieu de 1.000 ohms pour le service interurbain, et 1.400 ohms pour le service urbain.

Il va sans dire que si la manette M′ se trouvait gênante sur la tranche du transmetteur, on pourrait l'installer à côté de cet appareil, à l'aide de trois fils volants, à la portée de la main gauche de l'opérateur.

En résumé, si on considère le 3e cas établi pour la communication à grande distance, on peut dire qu'il est approprié à toutes sortes de services, dans les conditions suivantes :

1° Pour le service urbain, les manettes seront ouvertes ; on demandera la communication au bureau central avec le téléphone T, et on se servira du bitéléphone B pour la conversation. Par conséquent, aucune manœuvre n'est nécessaire, et les deux mains de l'opérateur restent libres.

2° Pour le service interurbain, on demandera la communication au bureau central en se servant du téléphone T, et on se servira du bitéléphone pour la conversation, en ayant soin de mettre la manette M de droite sur contact permanent. Ce sera la seule manœuvre à opérer, et les deux mains de l'opérateur seront encore libres.

3° Pour le service à grande distance, on demandera la communication au bureau central avec le téléphone T. On mettra ensuite à demeure la manette de droite M sur contact. Puis on causera au moyen du bitéléphone, la main gauche étant occupée à la manœuvre de la manette de gauche M′, tandis que la main droite reste libre.

Ce 3e dispositif pourrait être également utilisé, pour le service interurbain, et même le service urbain, dans le but de renforcer l'audition, dans le cas où, pour une raison quelconque, les courants téléphoniques sont affaiblis. Il pourrait aussi rendre des services aux personnes qui ont l'oreille dure, et qui, actuellement, ont de grandes difficultés pour téléphoner.

IV

Le bitéléphone à triple communication, représenté par la *fig.* 4, peut être utilisé tel quel pour le service ordinaire des bureaux centraux munis de commuta-

teurs téléphoniques multiples. Le conducteur *c* est alors relié à la terre, et sert à s'assurer si la ligne de l'abonné qu'on demande est occupée. Dans ce cas, la téléphoniste a ses deux mains libres pour manœuvrer ses fiches.

Le fait de maintenir automatiquement les téléphones aux oreilles réalisé dans le bitéléphone a donc d'autres conséquences que celle, déjà capitale, de permettre d'écrire les messages qu'on reçoit ou qu'on transmet. Il y avait lieu de signaler, outre l'application au service des bureaux centraux, celle qui permet au moyen de la manœuvre pratique et facile, décrite plus haut, d'une simple manette, de renforcer l'audition dans les réseaux urbains, pour les personnes qui ont l'oreille dure, et de téléphoner plus aisément aux grandes distances, surtout lorsque, à chaque extrémité d'une longue ligne, viennent s'ajouter les réseaux urbains des abonnés en correspondance.

Je ferai remarquer, en terminant, que ce mode d'emploi de courts circuits, déjà indiqué dans des conditions particulières par M. Massin (*), combiné avec celui du bitéléphone simple ou à triple communication, permet d'éviter les inconvénients qu'il a signalés en même temps (*loc. cit.*, p. 187) et de réaliser dans des conditions où elle est actuellement impraticable, la communication d'abonnés à abonnés sur des réseaux de grande longueur.

E. Mercadier.

(*) *Annales télégraphiques*, Mars-Avril 1891, p. 184.

EFFETS DE CAPACITÉ ET DE SELF-INDUCTION

DANS UN CIRCUIT

PARCOURU PAR DES COURANTS ALTERNATIFS

Les effets de capacité électrostatique et de self-induction dans un circuit parcouru par des courants alternatifs ont donné lieu, à plusieurs reprises, à des phénomènes d'apparence paradoxale qui ont vivement excité la curiosité des électriciens. C'est ainsi qu'il y a quelques mois, sur le réseau d'éclairage électrique de Londres alimenté par l'usine de Deptford, on a mesuré des tensions électriques dépassant 10.500 volts, alors que les machines ne pouvaient fournir théoriquement que 10.000 volts. Ce résultat inattendu, dont le récit a fait le tour de la presse scientifique, a été l'objet de nombreuses discussions, et plusieurs électriciens ont cru y voir la découverte d'un phénomène nouveau. On trouvera, dans l'article ci-après de M. Fleming, au sujet de ce fait et d'autres analogues, tous les détails désirables et une explication très simple. Les lecteurs désireux d'étudier cette question plus complètement liront avec intérêt les articles publiés par MM. Hutin et Leblanc sur de nouveaux types de machines dans lesquelles ils ont utilisé les propriétés des condensateurs d'une manière remarquable (*).

La présente note a pour but de montrer, par un

(*) *Lumière électrique*, Avril-Juin 1891; *Bulletin de la société internationale des électriciens*, Juillet 1891; *Annales télégraphiques*, 1891, p. 446.

exemple simple, comment la théorie permet d'expliquer les phénomènes en question et d'en prévoir de nouveaux.

Nous considérerons le cas d'un simple circuit parcouru par des courants alternatifs. Nous supposerons que la force électromotrice qui y est développée, soit par une dynamo, soit par un transformateur ou tout autrement, ait un caractère périodique simple, c'est-à-dire soit représentée par la formule :

$$E = E_0 \sin m(t - t_0), \tag{1}$$

E_0 désignant la valeur maximum par laquelle cette force électromotrice passe périodiquement, t_0 l'une des des époques auxquelles cette force électromotrice passe par la valeur zéro; enfin m étant un coefficient lié à la période T par la relation :

$$m = \frac{2\pi}{T} = \frac{6,2832}{T}, \tag{2}$$

Le circuit (*fig.* 1) peut être coupé ou non par un condensateur de capacité C embroché entre les points A′ et B′. Nous ne considérerons que l'influence de la résistance R et de la self-induction L du circuit, ainsi que de la capacité C, faisant abstraction des phénomènes d'hystérésis et autres qui compliqueraient cette étude.

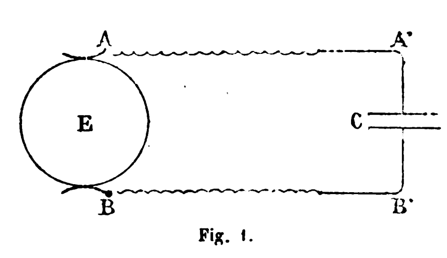


Fig. 1.

En premier lieu, si le condensateur C n'est pas embroché dans le circuit et que la self-induction L soit négligeable, l'intensité du courant i se calcule simple-

ment par la loi d'Ohm :

(3) $$i = \frac{E}{R} = \frac{E_0}{R} \sin m(t - t_0),$$

Le courant suit donc la même loi périodique que la force électromotrice, s'annulant en même temps qu'elle (à l'époque $t = t_0$), passant en même temps qu'elle par sa valeur maximum, qui est $I_0 = \frac{E_0}{R}$. Le sens du courant varie d'une demi-période à la suivante, et la quantité totale d'électricité $\int idt$ qui parcourt le circuit dans un sens déterminé pendant une période complète est nulle.

Si la self-induction n'est pas négligeable, on sait que la formule d'Ohm ($E = iR$) doit être complétée par un terme représentant la force électromotrice induite dans le circuit par les variations de son propre courant (voir les *Traités d'électricité*) et qu'elle devient :

(4) $$E = Ri + L\frac{di}{dt}.$$

On trouve alors pour expression de l'intensité du courant :

(5) $$i = \frac{E_0}{\sqrt{R^2 + L^2m^2}} \sin m(t - t_1).$$

Cette intensité est périodique comme la force électromotrice et, comme elle, change de sens à chaque demi-période ; mais elle ne passe pas en même temps que la force électromotrice par la valeur zéro. On dit que l'intensité i suit les variations de la force électromotrice avec un certain retard égal à $(t_1 - t_0)$. Le rapport de ce retard $(t_1 - t_0)$ à la période T est inférieur à $\frac{1}{4}$; on l'appelle la *différence de phase* entre la force électromotrice et le courant qu'elle engendre.

Pour passer au cas général où le condensateur est embroché dans le circuit, on n'a qu'à se rappeler (*) que *l'effet d'une capacité* C, *dans un circuit parcouru par un courant périodique simple* (comme celui que nous considérons), *est le même que celui d'une self-induction négative* égale à $-\frac{1}{Cm^2}$. On n'aura donc qu'à remplacer les formules (4) et (5) par :

$$(6)\qquad E = Ri + \left(L - \frac{1}{Cm^2}\right)\frac{di}{dt}$$

$$(7)\qquad i = \frac{E_0}{\sqrt{R^2 + \left(L - \frac{1}{Cm^2}\right)^2 m^2}} \sin m(t - t^2).$$

La différence de phase entre la force électromotrice E et l'intensité i du courant est modifiée par l'introduction du condensateur; c'est pourquoi nous remplaçons t_1 par t_2. Peu nous importe, du reste, la valeur de t_2.

Ceci posé, l'examen des formules (3), (5) et (7) montre : 1° que l'addition de la self-induction L à la résistance R a toujours pour effet de réduire l'intensité du courant, la valeur maximum I_0 de cette intensité passant

$$\text{de } \frac{E_0}{R} \text{ à } \frac{E_0}{\sqrt{R^2 + L^2m^2}};$$

2° Que l'addition du condensateur C fait passer cette valeur maximum I_0

$$\text{de } \frac{E_0}{\sqrt{R^2 + L^2m^2}} \text{ à } \frac{E_0}{\sqrt{R^2 + \left(L - \frac{1}{Cm^2}\right)^2 m^2}}$$

Si, en particulier, on a : $C = \frac{1}{Lm^2}$, I_0 devient égal à

(*) Voir *Annales télégraphiques*, 1884, p. 193.

$\frac{E_0}{R}$, et la formule (6) se réduit à : $E = Ri$, c'est-à-dire que l'effet de self-induction est annulé par l'effet de capacité.

Exemple :

$E_0 = 150$ volts,
$R = 0^{\omega},5$
et $L = 0^{q},1$ (résistance et self-induction totales de la machine et du circuit).

$$T = 0^{s},02\text{ ; d'où } \frac{1}{T} \text{ (fréquence)} = 50, \text{ et } m = 314.$$

D'après la formule (3), on trouverait pour l'intensité maximum :

$$I_0 = \frac{150}{0,5} = 300 \text{ ampères.}$$

Mais la self-induction L réduit cette intensité, d'après la formule (5), à :

$$I_0 = \frac{150}{\sqrt{\overline{0,5}^2 + \overline{0,1}^2 \times \overline{314}^2}} = 4^{amp},8.$$

Si l'on embroche un condensateur de capacité C égale à $\frac{1}{Lm_2} = 0^{farad},0001 = 100$ microfarads environ, l'intensité maximum remontera de 4,8 à 300 ampères. En doublant cette capacité, c'est-à-dire en prenant $C = \frac{2}{Lm^2}$, on retombera sur 4,8 ampères et en continuant à accroître C, on réduira encore cette intensité.

Ainsi l'addition d'une capacité convenablement choisie peut, dans certains cas, renforcer considérablement l'intensité ; mais elle ne peut dans aucun cas lui faire dépasser la valeur $\frac{E_0}{R}$. Par contre, si la self-in-

duction L n'existait pas ou était négligeable, l'addition d'un condensateur n'aurait pour effet que de réduire l'intensité, puisque, en supposant L nul, la formule (7) devient :

$$i = \frac{E_0}{\sqrt{R^2 + \frac{1}{C^2m^2}}} \sin m(t - t_2).$$

En résumé, la self-induction seule ou la capacité seule diminuent l'intensité du courant ; mais l'une d'elles peut servir à annuler l'effet de l'autre.

Une autre conséquence plus frappante encore de la théorie est la suivante. Calculons la différence de potentiel maximum V_0 développée entre les armatures A′ et B′ du condensateur dans l'exemple précédent. La différence de potentiel entre A′ et B′ s'obtiendra en retranchant de la force électromotrice E la chute de potentiel $\left(Ri + L\frac{di}{dt}\right)$ qui existe le long des conducteurs en raison de la résistance R et de la self-induction L ; elle est donc égale à $\left(E - Ri - L\frac{di}{dt}\right)$ ou, ce qui revient au même d'après les équations (6) et (7), à :

$$-\frac{1}{Cm^2}\frac{di}{dt} = \frac{-E_0}{Cm\sqrt{R^2 + \left(L - \frac{1}{Cm^2}\right)^2 m^2}} \cos m(t - t_2).$$

Le maximum V_0 a par conséquent pour valeur :

$$V_0 = \frac{1}{Cm}\frac{E_0}{\sqrt{R^2 + \left(L - \frac{1}{Cm^2}\right)^2 m^2}} = \frac{I_0}{Cm},$$

I_0 désignant l'intensité maximum. En adoptant les données numériques ci-dessus avec un condensateur C de 100 microfarads, m étant égal à 314 et I_0 à 300 am-

pères, on trouve :

$$V_0 = 9550 \text{ volts.}$$

Ainsi, la force électromotrice n'étant que de 150 volts, on pourrait obtenir jusqu'à 9.558 volts aux bornes du condensateur !

Il n'est pas inutile, pour se rendre compte de ce résultat, d'analyser ce qui se passe dans le circuit. Supposons le circuit rompu en un point O (*fig.* 2) et déve-

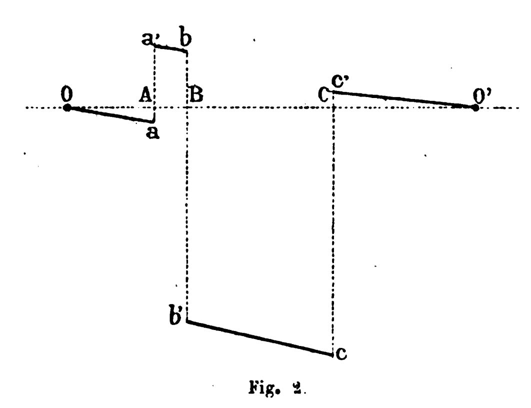


Fig. 2.

loppons sa résistance sur la droite OO′, en portant en ordonnée le potentiel en chaque point.

Pour simplifier, nous admettrons que la force électromotrice, au lieu d'être développée sur une certaine longueur du circuit, a pour effet d'accroître brusquement le potentiel au point A (de a en a'). De même, la force contre-électromotrice $-L\dfrac{di}{dt}$, due à la self-induction en B, est représentée par une chute brusque de potentiel (de b en b') et au point C (position du condensateur), le potentiel varie brusquement d'une armature à l'autre (de c en c'). Enfin, le long de la résistance R, le potentiel varie graduellement de O en a, de a' en b',

de b' en c et de c' en O', l'inclinaison des droites Oa, $a'b$,... représentant l'intensité du courant. Dans le cas qui nous occupe, le courant étant alternatif, ces droites Oa, $a'b$,... sont inclinées tantôt dans un sens (courant positif pendant une demi-période), tantôt dans l'autre (courant négatif pendant la demi-période suivante). En même temps, les variations brusques d'ordonnées aa', bb', cc' passent de la valeur zéro à un maximum pour diminuer, repasser par zéro, changer de sens, et ainsi de suite. Le maximum de la variation aa' est ici $E_0 = 150$ volts; le maximum de cc' est la valeur $V_0 = 9.550$ volts que nous avons calculée ci-dessus; enfin, le maximum de bb' $\left(\text{ou maximum de } L\frac{di}{dt}\right)$ a pour valeur, d'après la forme (7) :

$$Lm\frac{E_0}{\sqrt{R^2 + \left(L - \frac{1}{Cm^2}\right)^2 m^2}} = LmI_0 = \frac{I_0}{Cm} = V_0 = 9550 \text{ volts},$$

puisque l'on a pris $C = \frac{1}{Lm^2}$.

Pour employer une comparaison empruntée à l'hydraulique, on supposera qu'en A est une machine qui élève, du niveau a au niveau a', de l'eau venant de O et dirigée sur O' par une canalisation. L'inclinaison des lignes Oa, $a'b$, $b'c$, c'O' représente la pente de la canalisation; la partie $bb'cc'$ est un siphon qui peut théoriquement descendre à une profondeur cC bien supérieure à la hauteur d'élévation aa'.

Les explications précédentes suffisent pour comprendre les allusions aux formules théoriques que l'on trouvera dans l'article ci-après de M. Fleming.

A. VASCHY.

DE

QUELQUES EFFETS DES COURANTS ALTERNATIFS

DANS LES CIRCUITS AYANT DE LA CAPACITÉ ET DE LA SELF-INDUCTION

(Extrait d'un mémoire lu par le Dr J. A. Fleming, le 7 mai 1891, devant *Institution of electrical engineers* de Londres.)

. . . .

4. Ces effets de condensateurs, comme on peut les appeler, se remarquent bien nettement lorsqu'on fait usage de courants à nombreuses alternances. Tout récemment, M. Nikola Tesla a publié des observations très intéressantes sur des expériences faites avec des courants ayant de 10.000 à 20.000 alternances par seconde et il a décrit entre autres une expérience faite avec un condensateur relié aux pôles d'un alternateur de ce genre. On a employé une machine donnant environ 20.000 alternances par seconde. Deux fils dénudés de 20 pieds de long ont été rattachés aux pôles et leurs extrémités raccordées aux bornes d'un condensateur. La différence de potentiel entre des points situés sur des fils disposés parallèlement a été mesurée à l'aide d'un voltmètre et il a été constaté qu'elle augmentait régulièrement, pouce par pouce, depuis 65 volts aux bornes de l'alternateur jusqu'à 120 volts à celles du condensateur, l'auteur déclare que les observations de la self-induction de l'armature, dans ses positions

de maximum et de minimum d'inductance, prouvent que la capacité, qui a donné le chiffre le plus élevé à la borne du condensateur, paraissait correspondre à celle qui annulerait à peu près la self-induction moyenne, calculée d'après le maximum et le minimum observés. Ceci concorde absolument avec les conséquences théoriques déduites ci-dessus.

5. Le fait qu'un condensateur chargé par une machine à courant alternatif peut avoir à ses bornes une différence de potentiel beaucoup plus grande que celle qui existe aux bornes de la machine, paraît avoir été constaté expérimentalement avant l'époque où le docteur Hopkinson a appliqué les mathématiques à la solution d'un cas très simple de l'espèce. Dans son mémoire, le docteur Hopkinson annonce que le docteur Muirhead a constaté le fait dans une expérience. Dans la discussion qui suivit la lecture de ce travail, M. Blakesley discuta la même question d'après plusieurs diagrammes géométriques, et le professeur Ayrton fit observer qu'en 1878 ou 1879, M. Munro avait pris un brevet pour l'emploi de condensateurs, combinés avec une machine à courant alternatif. En tout cas, la vérification expérimentale d'une augmentation de pression électrique sur la ligne allant de la machine au condensateur est complète.

. . . .

La théorie ci-dessus est confirmée, dans ses caractères généraux, par les résultats de quelques expériences très intéressantes faites, il y a plus d'un an (10 avril 1890), aux ateliers de MM. Siemens frères et qui m'ont été communiqués par M. Alexandre Siemens. Un alternateur Siemens avait été maintenu à une vitesse constante de 750 tours, et le courant excita-

teur également maintenu constant. Le courant a été envoyé dans le gros fil d'un transformateur n° 2. Les bornes du circuit à fil fin ont été reliées à plusieurs longueurs de câble à un seul conducteur, isolées au moyen de gutta-percha et immergées dans une cuve. Les câbles ayant été isolés à leurs extrémités les plus éloignées formaient ainsi un condensateur relié au circuit secondaire du transformateur.

La tension a été mesurée aux bornes de la machine et à celles du circuit secondaire du transformateur, c'est-à-dire du condensateur.

Les expériences ont consisté à faire varier la longueur du câble employé de manière à faire varier la capacité et à observer la différence de potentiel aux bornes des deux circuits du transformateur pendant que la machine tournait avec une vitesse et une excitation constantes. Les résultats sont indiqués par la série ci-après de courbes très intéressantes. Les distances horizontales des diagrammes représentent les diverses capacités du circuit ouvert des câbles ou du condensateur relié aux bornes du circuit secondaire du transformateur. Les ordonnées verticales de la *fig.* 1 représentent la différence de potentiel des deux surfaces de ce condensateur, c'est-à-dire celle qui existe aux bornes secondaires du transformateur.

D'après la *fig.* 1, on voit que lorsque la capacité est nulle la différence de potentiel est de 2.500 volts. A mesure que la longueur de câble a été augmentée, la différence de potentiel est montée jusqu'à 8.500 volts, correspondant à une capacité de 0,2 microfarad, puis elle est tombée à 2.500 volts pour une capacité de 0,45 microfarad.

Il en résulte que, pour une capacité de 0,2 micro-

farad, par exemple, la différence de potentiel est trois fois et demi plus grande et qu'il y a une certaine marge

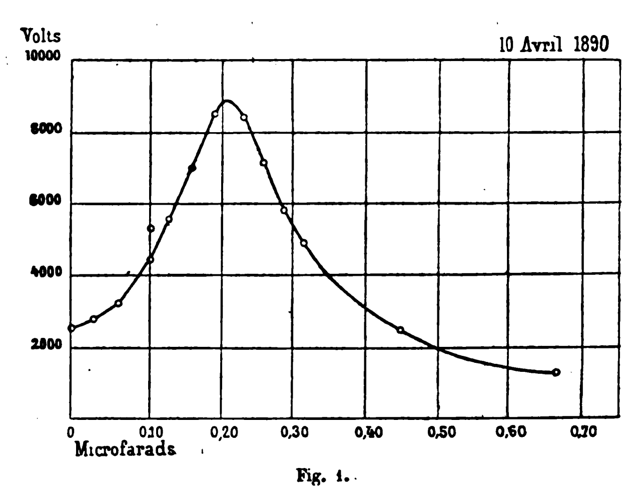


Fig. 1.

assez faible de capacité au delà de laquelle cette augmentation de potentiel se produit, à 0,45 microfarad et

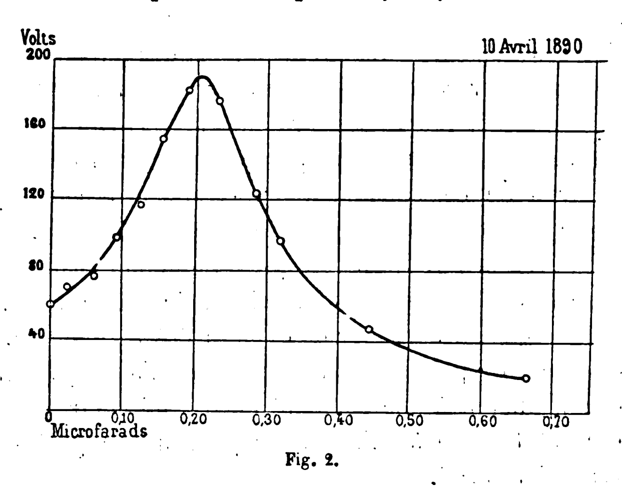


Fig. 2.

au delà ; la présence du condensateur réduit continuel-

lement la différence de potentiel au-dessous de sa valeur normale 2.500 volts.

La différence de potentiel aux bornes du circuit primaire du transformateur augmente également, ainsi que l'indique la courbe de la *fig.* 2 qui représente une série d'observations similaires faites du côté primaire du transformateur. On voit qu'en général les effets sont les mêmes que du côté secondaire et que ces courbes, déduites de l'observation, concordent entièrement avec celles que la théorie permet de construire. Les courbes des *fig.* 1 et 2 ont beaucoup d'analogie, mais en les superposant on reconnaîtrait qu'elles ne sont pas absolument semblables. Si l'on prend le rapport des ordonnées correspondantes de manière à obtenir une nouvelle courbe (*fig.* 3), cette courbe indiquera

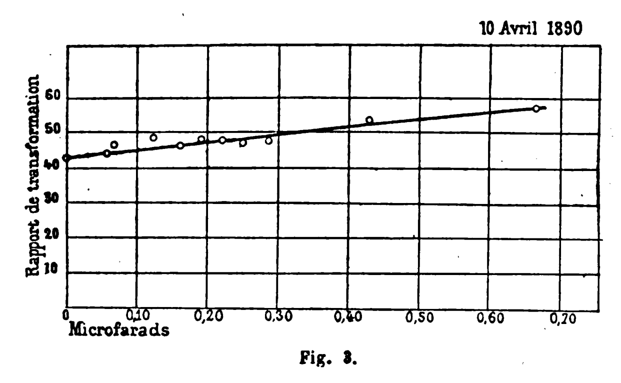


Fig. 3.

les variations que subit, pour diverses valeurs de la capacité, le rapport des différences de potentiel aux bornes des deux circuits (ou coefficient de transformation), et l'on voit que ce coefficient varie progressivement de 1 : 43 à 1 : 57 à mesure que la capacité du condensateur sur le circuit secondaire passe de zéro à 0,65 microfarad. Il est donc évident qu'en employant des

transformateurs à l'essai des câbles, tels que les câbles à deux conducteurs concentriques par exemple, qui possèdent suffisamment de capacité, on doit tenir compte de cette variation de coefficient du transformateur, sans quoi on commettrait des erreurs dans l'évaluation du potentiel auquel est soumis ce câble.

9. Ces considérations montrent qu'en reliant les transformateurs ou les alternateurs à des circuits ayant de la capacité, on doit tenir compte de ce fait que pour certaines valeurs critiques de l'inductance et de la capacité correspondant à une période de courant déterminée, il peut y avoir une élévation très notable de la différence de potentiel entre les deux armatures du condensateur, relativement à celle qui existe normalement entre les bornes de l'alternateur ou du transformateur, dans les cas où il n'y a pas de condensateur. Il y a longtemps que ces faits ont été constatés dans la pratique. On a remarqué souvent que lorsqu'un transformateur (donnant une certaine différence de potentiel lorsque son circuit est ouvert), est employé à essayer l'isolement d'une certaine longueur de câble à 2 conducteurs concentriques, après avoir relié les bornes du transformateur respectivement à ces deux conducteurs, et isolé les extrémités éloignées de ceux-ci, on observe, dans certaines circonstances, un accroissement de la différence de potentiel entre les extrémités libres du câble, par rapport à celle qui existe aux bornes du transformateur, lorsque ce dernier n'est pas raccordé au câble.

Lorsqu'on se sert de transformateurs pour essayer l'isolement des armatures d'alternateurs à haute tension, on a constaté que, dans certains cas, de fortes étincelles traversent des couches d'air qui se seraient

opposées à la décharge avec la différence réelle de potentiel des bornes secondaires du transformateur employé sans être relié à un corps ayant de la capacité.

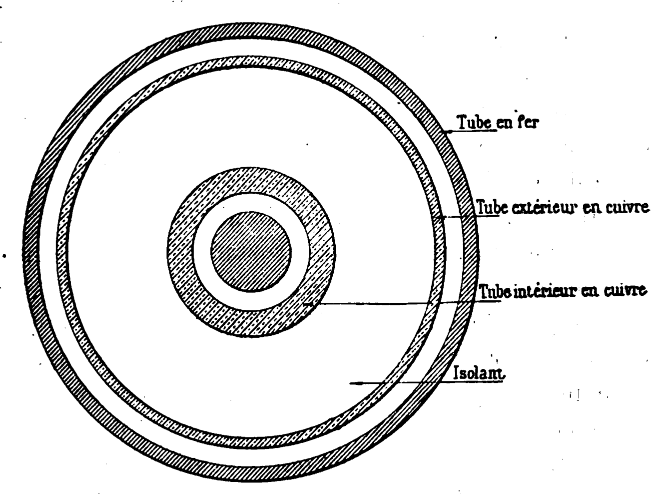
Lorsqu'on se sert d'un alternateur ou d'un transformateur pour essayer l'isolement entre deux conducteurs opposés ou dont les extrémités opposées peuvent acquérir de la capacité d'une manière quelconque, il est nécessaire de surveiller cette augmentation possible de tension, et, lorsqu'un transformateur donne 2.000 volts, par exemple, en circuit ouvert entre ses pôles, avec un voltmètre électrostatique, il ne faut pas en conclure que c'est également la mesure de la tension appliquée au diélectrique formant l'isolant d'un condensateur relié aux pôles de ce transformateur.

Je ne suis pas du tout sûr que, dans certains cas, on ne commette pas d'erreurs en se servant d'un simple voltmètre électrostatique pour mesurer la différence de potentiel entre les pôles d'un alternateur ou d'un transformateur, lorsque ce voltmètre possède une certaine capacité dans un rapport convenable avec l'inductance du circuit auquel il est relié en dérivation.

. . . .

14. Je désire vous soumettre les résultats de quelques expériences faites sur de grandes longueurs des conducteurs Ferranti, entre Londres et Deptford, et qui constituent une démonstration remarquable de ces principes. Nous savons tous que ce sont des câbles à conducteurs concentriques possédant, par conséquent, une capacité électrostatique très appréciable. Voici quelques renseignements sur leurs dimensions. Le conducteur intérieur est un tube en cuivre (*fig.* 4) dont le diamètre intérieur sera désigné par D_1, le rayon par R_1,

le diamètre extérieur par D_2, et le rayon extérieur par R_2. Le conducteur extérieur est un tube de cuivre dont nous désignerons le diamètre intérieur par D_3, le rayon par R_3, le diamètre extérieur par D_4 et le rayon par R_4.



Section d'un conducteur Ferranti (grandeur naturelle).

Fig. 4.

L'isolant entre les deux tubes est formé de papier brun comprimé et de cire noire. Les valeurs des diamètres et rayons de la section transversale de ces tubes sont les suivants :

$D_1 =$	$^9/_{16}$	de pouce	$= 14^{mm},0$
$D_2 =$	$^{13}/_{16}$	—	$= 20^{mm},4$
$D_3 =$	$1\ ^{27}/_{32}$	—	$= 47^{mm},0$
$D_4 =$	$1\ ^{15}/_{16}$	—	$= 49^{mm},0$

. . . .

Si la capacité spécifique inductive du diélectrique était une quantité bien définie, on pourrait facilement calculer, d'après les chiffres ci-dessus, la capacité d'un

mille de câble d'après la formule :

$$\text{Capacité en unités électrostatiques} = \frac{K l}{2 \log e \frac{R_3}{R_2}},$$

dans laquelle K représente la capacité spécifique inductive, et l la longueur, et on réduirait cela en farads en multipliant par $\frac{1}{9 \times 10^{11}}$.

A défaut d'indication permettant de procéder de cette manière, on a mesuré la capacité électrostatique d'une certaine longueur par comparaison avec un étalon d'un demi-microfarad.

Le 5 décembre 1890, M. Ferranti a mis à ma disposition deux longueurs de ces conducteurs allant de Trafalgar square à Blackfriars, en vue d'en mesurer la capacité. La longueur de câble employé était de 2.399 yards (2.193 mètres) :

La capacité d'une de ces longueurs (câble n° 3) a été trouvée par la méthode ordinaire (en prenant la capacité entre le tube intérieur et le tube extérieur ; elle était de 0,5 microfarad pour toute la longueur, ce qui donne 0,228 microfarad par kilomètre. Il en résulte que la capacité spécifique inductive de la substance employée est d'environ 3, 4 (celle de l'air étant = 1).

Sur l'autre câble (n° 4) on a constaté que la résistance du cuivre était de 0,201 ohm légal par kilomètre pour l'ensemble du conducteur intérieur et du conducteur extérieur. La résistance d'isolement entre ces conducteurs, pour le premier câble, a été trouvée de 720 mégohms par mille. Les appareils employés pour ces mesures étaient un condensateur d'un demi-microfarad du docteur Muirhead et un pont de Wheatstone à ohm légal et un étalon mégohm, gracieuse-

ment mis à ma disposition dans ce but par MM. Elliott frères. La température de ce jour était voisine du point de congélation et la nature nous a ainsi épargné la peine de réduire les valeurs obtenues à zéro centigrade.

L'élément qu'il reste à connaître est l'inductance du câble par mille. Heureusement la forme du câble qui convient le mieux pour des raisons de pratique est la seule où l'inductance puisse être facilement calculée avec un degré suffisant d'exactitude d'après les dimensions du câble. Lord Rayleigh a résolu le problème de l'inductance dans un couple de conducteurs concentriques disposés sur le même axe.

. . . .

L'inductance (self-induction) du câble Ferranti ainsi calculée, a une valeur égale à 178.206 C. G. S. ou 0^q,000.178 par kilomètre. L'erreur commise dans ce calcul est du même ordre que celle qui a pu être commise dans la mesure du diamètre des conducteurs.

En réunissant nos résultats, nous trouvons les valeurs suivantes pour un mille légal du conducteur Ferranti, déduites des mesures des longueurs spéciales employées.

R =	Résistance du cuivre à 0° C. du conducteur et du fil de retour.	=	0,201 ohm par kilomètre.
K =	Résistance d'isolement de la longueur mesurée à raison de.	=	720 mégohms par mille entre le conducteur extérieur et le conducteur intérieur.
C =	Capacité électrostatique entre les conducteurs intérieur et extérieur	=	0,228 microfarad par kilomètre.
L =	Inductance.	=	178 microquadrants par kilomètre.

On employait des courants périodiques d'une fréquence voisine de 67 périodes par seconde.

. . . .

15. De nombreuses expériences faites pendant la pose du câble ont prouvé jusqu'à l'évidence qu'un conducteur ayant une capacité électrostatique aussi grande se comportait d'une manière fort curieuse, dans certaines circonstances, lorsque des bouts d'une assez grande longueur étaient reliés à un transformateur. Ce mode de procéder a été souvent mal compris et mal décrit. On a imaginé des théories ingénieuses pour rendre compte de phénomènes qui n'existent pas. Voici en quelques mots ce qui se produit réellement : Lorsqu'un câble isolé et de longueur suffisante a ses conducteurs intérieur et extérieur reliés aux bornes d'un transformateur ou d'un alternateur dont l'armature a une inductance suffisante, on observe que la différence de potentiel entre les conducteurs, mesurée à un point quelconque sur le parcours du câble, est généralement plus grande qu'elle ne serait aux bornes de cet alternateur ou de ce transformateur, si le câble était très court ou s'il n'y était pas du tout. Ce fait semble persister lorsque les conducteurs extérieur et intérieur sont reliés ensemble à travers une assez grande résistance, telle qu'une rangée de lampes à incandescence en série ou un voltmètre à résistance très forte, ou encore un transformateur faiblement chargé. Dans tous les cas, le câble paraît agir comme un simple condensateur et, dans aucun d'eux, il n'y a, autant qu'on sache, de preuve d'une augmentation continue de tension le long des fils d'intercommunication mêmes. La tension n'est pas plus grande à Londres qu'à Deptford. L'effet de condensateur paraît être augmenté par l'accroissement de la longueur des fils, au moins autant qu'on a pu s'en apercevoir dans les limites observées et, en tous cas, le fil se comporte

comme s'il était un condensateur reliant deux fils parallèles sans capacité. Lorsque le courant passe sur le câble, il y a, entre les conducteurs intérieur et extérieur, un flux qui traverse le diélectrique et qui constitue le courant de condensateur des fils ; le courant à la sortie est généralement moins fort que le courant à l'entrée, quoiqu'il n'en soit pas toujours ainsi. Le courant sortant à l'extrémité située à Londres peut être appelé le *courant de travail*. Il y a une différence de phase entre le courant de travail et le courant de condensateur. Le courant entrant est la résultante de ces deux courants.

16. En vue de se rendre plus exactement compte des phénomènes sur ces fils d'intercommunication, on a fait quelques expériences sur une longueur d'environ 12 milles de câble en reliant les conducteurs de deux de ces fils à Londres, les deux extrémités de cette gigantesque boucle de câble concentriques aboutissant à la station de Deptford. Ces expériences ont été faites pour permettre à M. Preece, au major Cardew et à moi de mesurer ces effets de condensateur sur les fils d'intercommunication Ferranti ; elles ont eu lieu le 9 janvier 1891, à Deptford, avec le concours de MM. Ferranti, Spartks, d'Alton et Mc Lean ainsi que des ingénieurs adjoints.

Les dispositions prises étaient les suivantes (Voir *fig.* 5). Une des dynamos de 1.200 chevaux (n° 2) a été utilisée à cet effet et excitée de manière a fournir un courant de 2.500 volts environ, qui a été envoyé dans les circuits primaires de deux transformateurs de 150 chevaux, reliés en dérivation et qui ont porté la tension de 2.500 à 10.000 volts. A cette tension, un courant a été émis par les circuits secondaires dans

le câble concentrique de Deptford, de là à la sous-station de Trafalgar square à Londres, par l'un des fils avec retour par l'autre. La distance totale est de 20.224 yards, soit $18^{km},476$. A sa rentrée à Deptford,

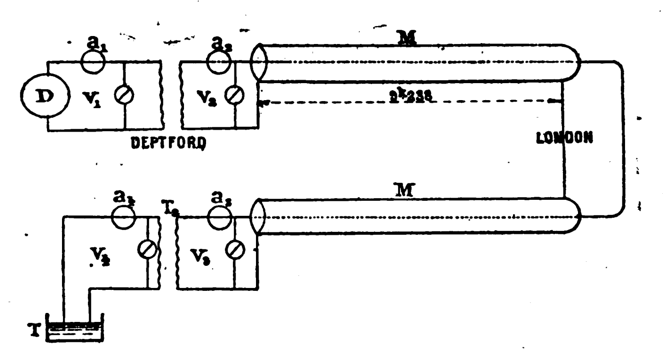


Fig. 5.

le courant a été de nouveau réduit de 10.000 à 2.500 volts, et l'énergie électrique absorbée à cette tension par une résistance d'eau disposée dans une cuve. La tension aux différents points du système a été mesurée au moyen de voltmètre de Cardew, avec réduction des fortes tensions par des transformateurs d'épreuve de coefficient 100 : 1. Les courants ont été mesurés au moyen d'ampèremètres d'Evershed. Le courant et la tension ont été mesurés en quatre points, savoir : aux bornes de la dynamo, au commencement ou à l'entrée de la ligne, à son extrémité et, après réduction, à la cuve. Des observateurs placés à divers appareils ont procédé simultanément, au signal d'un coup de sifflet, et ont obtenu ainsi les valeurs simultanées de la tension et du courant en ces quatre endroits. Les transformateurs employés pour élever et diminuer la tension étaient du type à 150 chevaux, ayant dans le circuit primaire 1.120 tours de fil, d'une résistance

de $3^{ohms},5$, dans le circuit secondaire 280 tours de fil, d'une résistance de $0^{ohms},2442$. Par conséquent le coefficient théorique de ces transformateurs était 4 : 1.

Il y avait, de plus, une paire de transformateurs d'épreuve, ayant un coefficient égal à 100 : 1, et donnant une réduction de 10.000 à 100 volts pour le voltmètre. Les expériences ont consisté à exciter la dynamo à différents voltages, à observer l'intensité du courant et la tension aux quatre endroits indiqués, tout en chargeant le système de différentes manières, suivant qu'on prenait plus ou moins de courant dans la cuve.

17. Les résultats ci-dessus (voir le tableau ci-contre) proviennent du choix fait dans un grand nombre d'expériences. La première colonne du tableau I contient les numéros d'ordre affectés à chaque expérience; la deuxième et troisième indiquent la tension et le courant aux bornes de la dynamo ; la quatrième renferme une série de nombres qui représentent quatre fois ceux de la deuxième colonne, ce sont les tensions que donneraient les transformateurs renforceurs dans la proportion de 1 : 4 s'il n'y avait pas de câble. Les colonnes cinq et six indiquent la tension et le courant à l'extrémité du fil d'intercommunication où se trouve la dynamo, et l'on peut constater que toujours la tension observée est supérieure à quatre fois la tension aux bornes de la dynamo. Les colonnes sept et huit donnent la tension et l'intensité du courant à l'extrémité éloignée du fil d'intercommunication, et l'on remarque que toujours le courant est plus faible à la sortie qu'à l'entrée. Les colonnes dix et onze donnent la tension et le courant après la réduction par les transformateurs réducteurs, tension à laquelle l'énergie est absorbée par la résistance dans la cuve à eau. La colonne neuf donne la tension aux bornes

TABLE I.

Expériences sur la distribution de la pression dans les fils d'intercommunication Ferranti.

NUMÉROS d'ordre	BORNES DE LA DYNAMO		TENSION aux bornes de la dynamo multipliées par 4	A L'EXTRÉMITÉ DU FIL d'intercommunication		A L'EXTRÉMITÉ ÉLOIGNÉE du fil d'intercommunication		TENSION dans la cuve à eau multipliée par 4	DANS LA CUVE A EAU	
	Tension	Courant		Tension	Courant	Tension	Courant		Tension	Courant
I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI
1	2,177	121,4	8,708	9,060	29,2	8,950	26,5	8,640	2,160	118,2
2	2,386	119,4	9,544	10,100	31,5	9,770	28,0	9,504	2,376	117,1
3	2,458	119,4	9,832	10,300	32,0	10,120	28,0	9,840	2,460	116,0
4	2,177	119,3	8,708	9,110	29,2	8,930	26,5	8,640	2,160	116,0
5	2,311	113,2	9,244	9,700	28,7	9,570	24,8	9,408	2,352	106,5
6	2,251	110,2	9,004	9 600	27,6	9,280	24,3	9,024	2,256	105,5
7	2,568	106,1	10,272	10,490	27,0	10,070	23,3	9,792	2,448	101,6
8	1,994	108,1	7,976	8,420	26,0	8,200	23,3	7,872	1,968	100,7
9	2,448	100,0	9,792	10,170	24,0	10,690	19,0	10,128	2,523	56,6
10	2,496	92,8	9,984	10,560	22,0	10,590	17,0	10,512	2,628	56,0
11	2,400	92,8	9,600	10,360	21,5	10,490	16,3	10,224	2,556	55,5
12	2,311	64,1	9,244	9,700	17,0	9,770	non pris.	9.600	2,400	42,2
13	2,280	41,7	9,120	9,870	11,0	9,900	0	9,736	2,434	0
14	2,328	41,7	9,312	9,970	11,0	10,000	0	9,880	2,470	0
15	1,620	42,7	6,480	7.240	10,0	7,350	0	7,248	1,812	0
16	1,104	24,4	4,416	5,200	5,0	5,200	0	4,964	1,241	0
17	1,212	24,4	4,848	5,500	9,0	5,500	0	5,456	1,339	0
18	1,308	24,4	5,232	5,900	9,0	5,900	0	5,740	1,435	0
19	1,800	37,6	7,200	7,920	10,0	7,920	0	7,784	1,946	0
20	2,136	48,8	8,544	9,380	12,0	9,410	0	9,244	2,311	0

primaires (côté du câble) des transformateurs réducteurs de coefficient 4 : 1 ; ces transformateurs feraient connaître la tension à la cuve si le câble n'existait pas.

. . . .

20. En continuant à examiner les indications du tableau I, nous voyons que la moyenne de différence de potentiel entre les deux conducteurs du câble est toujours plus grande que quatre fois la tension aux bornes de la dynamo donnée à la colonne quatre. C'est-à-dire que ces chiffres prouvent que la tension sur la ligne d'intercommunication à l'extrémité où se trouve la dynamo est toujours plus grande qu'elle ne serait aux bornes des transformateurs réducteurs si la ligne d'intercommunication était détachée. On peut dire que c'est là le phénomène fondamental qui a été si souvent mal décrit et mal compris. Les valeurs des tensions, lues aux bornes de la dynamo et aux deux extrémités des fils d'intercommunication, montrent que lorsque le système est chargé, et fortement chargé, il y a une chute de potentiel le long du câble, comme cela devait être, bien que les chiffres réels semblent prouver que cette chute de potentiel n'est pas tout à fait de valeur égale au produit des valeurs de la résistance vraie du câble par le courant qui le traverse. On ne peut admettre comme représentant la réalité des faits les cas où les chiffres du tableau I paraissent indiquer une augmentation de potentiel le long de la ligne.

Lorsque le câble est débarrassé de tout courant de travail et n'est plus traversé que par un courant de condensateur, ces chiffres montrent, ou que le câble est au même potentiel sur tout son parcours, ou qu'il peut y avoir une légère augmentation de tension du départ à l'arrivée. Je crois toutefois qu'il n'y a pas de

preuve sérieuse de cette augmentation de pression d'une extrémité à l'autre du câble lorsque ce dernier n'a pas de charge extérieure. Le fait essentiel est que tandis que les transformateurs renforceurs, s'ils existaient seuls, quadrupleraient simplement le potentiel de la dynamo, nous trouvons qu'avec une forte charge du câble la moyenne de différence de potentiel des conducteurs dépasse quatre fois la tension aux bornes de la dynamo d'environ 5 p. 100 et que, si l'on supprime la charge extérieure, cet excédent de tension s'élève à peu près à 10 ou 15 p. 100.

. . . .

22. Dans un mémoire lu récemment par le major Cardew, il a été fait allusion à la différence de condition électrique, relativement au sol entre deux conducteurs isolés ayant des capacités différentes, dont l'un entoure l'autre, lorsqu'il sont reliés aux bornes d'un transformateur ou alternateur isolé. Dans le cas d'un câble concentrique dont les deux conducteurs en cuivre sont isolés l'un de l'autre, le conducteur extérieur étant isolé d'une enveloppe métallique reliée à la terre, nous avons deux conducteurs isolés, celui de l'intérieur a de la capacité par rapport à celui de l'extérieur, mais pas par rapport à la terre, tandis que le conducteur extérieur a de la capacité par rapport au conducteur intérieur et à la terre. Avec la construction actuelle des câbles, cette dernière capacité est beaucoup plus forte que la première.

Dans le cas des lignes d'intercommunication Ferranti, nous avons vu que la capacité du conducteur intérieur par rapport à celui de l'extérieur, est d'environ 0,2 microfarad par kilomètre de câble posé. Calculant d'après les dimensions mesurées et la capacité spécifique induc-

tive de la substance isolante, telle qu'elle a été déduite de la capacité du conducteur intérieur par rapport au conducteur extérieur, je trouve que la capacité de ce dernier par rapport à la terre est environ dix fois plus forte, c'est-à-dire dépasse 2 microfarads par kilomètre. Il en résulte immédiatement, d'après les principes élémentaires, que les deux conducteurs isolés d'un câble concentrique, reliés respectivement aux bornes d'un transformateur ou d'une dynamo isolée, seront toujours dans des conditions telles que le conducteur extérieur soit au potentiel zéro par rapport à la terre et que la différence totale de potentiel que le transformateur ou la dynamo peut donner existe entre le conducteur extérieur et le conducteur intérieur du câble. Ceci n'est vrai que si le conducteur extérieur entoure complètement le conducteur intérieur ; mais il est également vrai que lorsque les deux conducteurs ont des capacités différentes, pour des raisons de position ou de forme, il y aura inégalité électrique entre eux, en ce sens que la différence de potentiel entre chaque conducteur et la terre ne sera pas la même. Le conducteur qui a la plus grande capacité aura le potentiel le plus faible par rapport à la terre, pourvu toutefois que les deux conducteurs raccordés aux pôles du générateur ou du transformateur soient isolés sur toute leur longueur.

(Traduit par M. Gronostayski).

STATIONS TÉLÉPHONIQUES AUTOMATIQUES(*)

Un autre procédé et d'un fonctionnement probablement beaucoup moins sûr est dû à M. Wilson.

Dans ce système, quatre postes sont placés sur la ligne principale. Chaque poste possède un aimant permanent : aux extrémités des branches de celui-ci sont fixés des noyaux de fer doux entourés par des bobines formant électro-aimant et embrochées sur la ligne.

Chacun de ces aimants permanents a une force attractive déterminée, réglée probablement d'une manière très exacte à l'aide d'un couteau, comme on le fait pour l'aimant de l'appareil télégraphique Hugues.

L'armature des électro-aimants ainsi constitués est rappelée par un ressort qui agit seulement lorsque le pouvoir attractif de l'aimant permanent est réduit au cinquième de sa valeur ou environ.

Désignons par 1, 2, 3, 4 les stations et supposons que les aimants 1 et 3 soient neutralisés par un courant positif, les aimants 2 et 4 par un courant négatif.

En envoyant un courant positif dont nous représenterons conventionnellement l'intensité par 1, on confirme la position des armatures des aimants 2 et 4. Ce courant neutralise, en revanche, l'effet de l'aimant 1 qui abandonne son armature : il neutralise également l'effet de l'aimant 3, mais pas suffisamment pour que l'armature de celui-ci se détache, car l'électro-aimant 3

(*) Voir *Annales télégraphiques*, 1890, p. 328.

est placé en dérivation sur une résistance égale à la sienne.

Un courant positif d'intensité 2 confirmera de même les armatures 2 et 4 dans leurs positions ; il provoquera le déclenchement de l'armature 3. Quant à l'électro-aimant 1, non seulement il perdra sous l'action de ce courant sa polarité normale, mais il en gagnera une autre de sens contraire, de sorte que son armature restera attirée.

Des envois de courants négatifs d'intensité 1 et 2 permettraient semblablement d'appeler les postes 2 ou 4.

On voit que, pour qu'un semblable système puisse régulièrement fonctionner, les aimants permanents ne devraient subir aucune altération sous l'action du passage du courant. L'auteur du système prétend atteindre ce résultat, en enroulant sur les branches de l'aimant permanent des bobines (*fig.* 38) en sens inverse des bobines d'électro-aimant qui correspondent à ces branches. Nous ne garantissons en aucune façon l'exactitude de cette assertion.

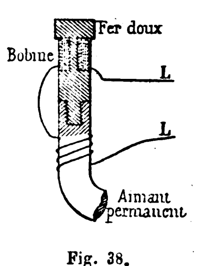


Fig. 38.

MM. Maiche et Tomasi ont utilisé également pour résoudre le même problème des courants d'intensités diverses, mais en se servant de deux électro-aimants polarisés au lieu d'un électro-aimant et d'un aimant permanent.

La *fig.* 39 donne une représentation schématique de leur système. Supposons que le courant émis par le bureau central et arrivant par L dans le poste considéré soit assez fort pour attirer l'armature du re-

lai A et trop faible pour attirer celle du relai B; le téléphone T se trouve alors relié à la ligne L en même temps que toute la partie de la ligne qui suit le poste demeure isolée. Si le courant émis est, au contraire,

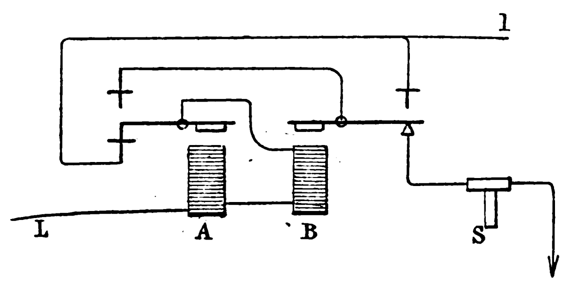


Fig. 39.

assez fort pour attirer à la fois les armatures des deux relais, le téléphone S demeure hors circuit et la ligne L communique avec l'un des postes suivants par l'intermédiaire des contacts supérieurs des armatures de A et B.

Dans ces conditions, si l'on suppose quatre postes embrochés, on devra disposer de quatre courants d'intensités croissantes, étant entre elles comme les nombres 1, 2, 3 et 4. Le courant d'intensité 1 servira alors à l'appel de la station 1, puisqu'il ne fera fonctionner que le relai A_1 de cette station : le courant 2 servira à l'appel de la station 2, puisqu'il ne fera fonctionner que les relais A_1 et B_1 de la station 1 et le relai A_2 de la station 2, etc.

Pour appeler la station centrale, les abonnés se servent de courants alternatifs n'influençant pas les relais.

Ce système, très séduisant au premier examen, semble en réalité assez complexe, étant données la dif-

ficulté du réglage des relais et les intensités de courant très rapidement élevées dont on doit faire usage si un certain nombre de postes est embroché sur la ligne principale.

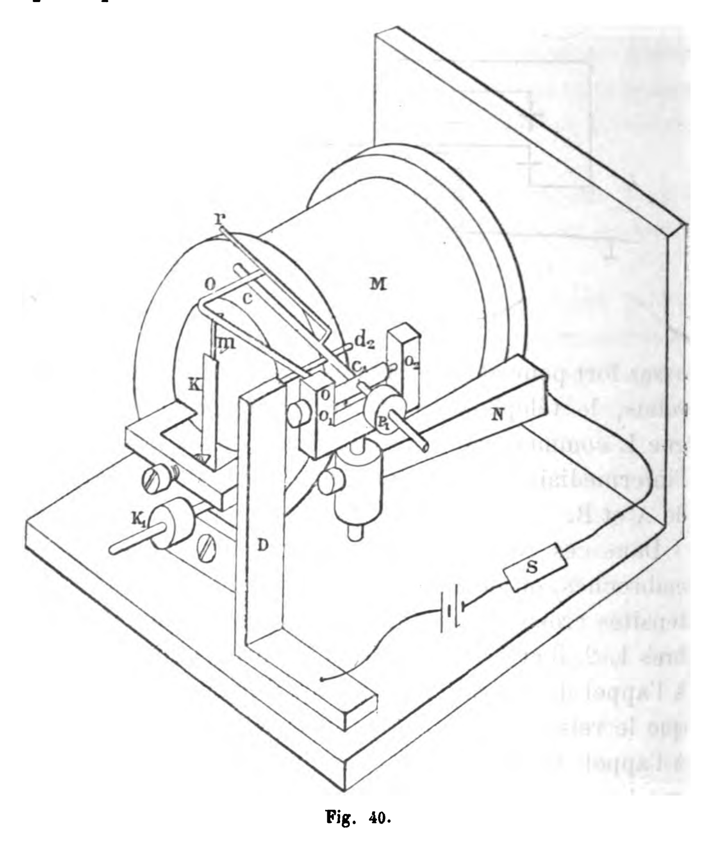


Fig. 40.

Le système Davis, fondé sur le même principe que l'appareil de MM. Tomasi et Maiche, permet de n'installer à chaque poste qu'un seul relai au lieu de deux. L'appareil Davis que nous représentons (*fig.* 40) se compose essentiellement d'un électro-aimant M aux

épanouissements polaires très élargis, le pôle d'arrière présentant une surface environ six fois plus grande que le pôle d'avant. M. Davis estime qu'on augmente considérablement l'effet magnétique du pôle d'avant en donnant cette forme à son électro.

En avant de cet électro est un montant D muni d'un bras métallique horizontal d_2. Un autre bras métallique N également horizontal porte une fourchette o_1 o_2 par l'intermédiaire d'un manchon. Cette fourchette peut être fixée à diverses hauteurs à l'aide d'une vis de pression placée dans ce manchon qui la supporte. Un bras o_1 o_2 oscille entre ses branches et porte une tige cc' en fer doux munie d'une branche latérale r et qu'un contrepoids p_1 ramène au repos contre un bras d'arrêt o fixé à la fourchette. Le contrepoids p_1 peut d'ailleurs se déplacer sur la tige qui le porte, filetée à cet effet.

En regard du même pôle de l'électro est une deuxième armature en fer doux K qui porte une butée m. Cette armature est montée à la façon des battants de cloche et munie également d'un contrepoids K' pouvant se déplacer.

Dès lors, le fonctionnement de l'appareil se conçoit immédiatement. Au poste n° 1, on règle le contrepoids p de manière que l'armature cc' soit attirée pour un courant d'intensité 1. Le contrepoids K' est réglé de manière que l'armature K ne fonctionne que pour un courant d'intensité 2 ou supérieure à 2.

Si donc l'on envoie sur la ligne un courant d'intensité 1, l'armature cc' fonctionne seule et ferme alors en d_2 le circuit de la sonnerie d'appel du poste 1. Si on a envoyé, au contraire, un courant d'intensité 2 ou supérieure, les deux armatures K et cc' sont attirées

et la butée *m* de l'armature K empêchant *cc'* de descendre jusqu'au contact d_2 le poste 1, n'est pas appelé.

On conçoit qu'en réglant les contrepoids des armatures dans chaque poste, le bureau central puisse, comme dans le système de MM. Maiche et Tomasi, appeler à volonté un des abonnés à l'aide de courants d'intensités convenablement choisis.

Un grand nombre des solutions proposées ont consisté à installer en chaque poste des mouvements d'horlogerie qui marchent synchroniquement, et dont la mise en marche ou l'arrêt simultané est effectué à l'aide d'une seule émission de courant. Pendant la durée d'une rotation complète de ces mouvements, chaque sonnerie de poste est introduite une fois sur la ligne pendant un temps déterminé durant lequel la station centrale peut l'actionner. Tels sont les systèmes Blake, Vail et Blin qui diffèrent seulement par des dispositifs de détail. L'un des plus simples et des mieux étudiés parmi ces systèmes est dû à M. Warner.

M. Warner installe en chaque poste un mouvement d'horlogerie commandé par un électro-aimant M, placé sur la ligne principale ainsi que la sonnerie S. Dès qu'on envoie un courant sur la ligne, tous les électro-aimants fonctionnent et les mouvements d'horlogerie se mettent en mouvement. Les sonneries S ne fonctionnent pas sous l'action de ce courant étant mises normalement en court circuit (*fig.* 41).

Chaque mouvement d'horlogerie commande un arbre A portant deux cames h_1 et h_2. Dans tous les postes, la came *h* est semblablement placée sur cet arbre : les cames h_2 occupent, au contraire, une position différente. Au moment où, sous l'action du courant, le

mouvement d'horlogerie se met en marche, la came *h* lâche le ressort *r* et met l'électro-aimant en court circuit, puis les cames h_2 rencontrent successivement le ressort *r'* et, par suite, ouvrent successivement pen-

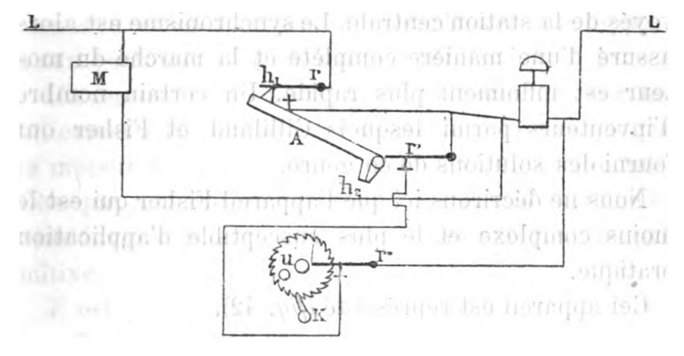


Fig. 41.

dant un certain temps le court circuit de sonnerie de chacun des postes. En choisissant le moment d'émission de son courant, le poste central appelle donc la station qui lui convient.

Une roue K également commandée par le mouvement d'horlogerie du poste porte un taquet qui fait avancer une roue dentée placée au-dessus d'elle. Cette dernière porte une goupille *u* tellement placée qu'avant la mise en court circuit de l'électro-aimant M, le ressort *r''* soit soulevé une seconde et par suite le court circuit de sonnerie rompu. Toute mise en marche du mouvement et par suite tout appel est donc annoncé aux divers postes par un coup de sonnerie très bref.

Bien que l'utilisation de mouvements d'horlogerie mis en marche par un seul envoi de courant soit déjà un progrès sur la mise en mouvement directe d'une roue sous l'action d'une série d'émissions de courant,

le synchronisme obtenu est loin d'être parfait et la marche des appareils est encore relativement lente.

Un procédé extrêmement ingénieux consiste à substituer aux mouvements d'horlogerie de petits moteurs électriques marchant sous l'action des courants envoyés de la station centrale. Le synchronisme est alors assuré d'une manière complète et la marche du moteur est infiniment plus rapide. Un certain nombre d'inventeurs parmi lesquels Gilliland et Fisher ont fourni des solutions de ce genre.

Nous ne décrirons ici que l'appareil Fisher qui est le moins complexe et le plus susceptible d'application pratique.

Cet appareil est représenté (*fig.* 42).

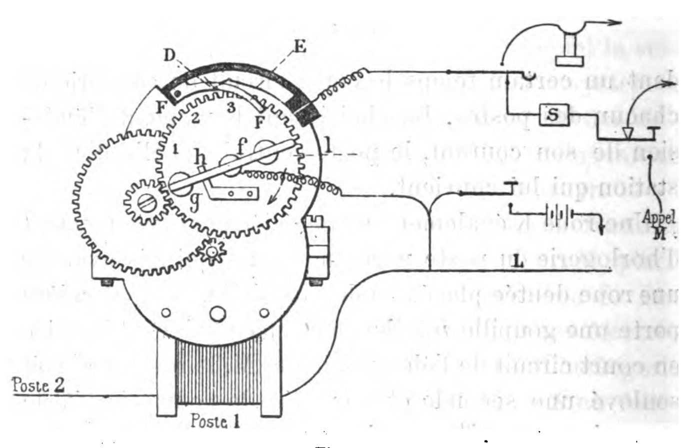


Fig. 42.

D est une pièce isolante fixée au bâti du moteur et entourant partiellement la circonférence de la roue *e* commandée par le moteur par l'intermédiaire de deux pignons. A cet isolant D est fixée l'extrémité d'un ressort courbe E. L'autre extrémité de ce ressort est re-

courbée en forme de V et se trouve sur le parcours du levier *f*, de telle sorte que lorsque celui-ci, se déplaçant dans le sens de la flèche, rencontre cette sorte de crochet il la soulève légèrement et passe au-dessous de lui. Si, après qu'il a passé ainsi, on veut ramener le levier *f* en sens inverse, le crochet s'oppose à son passage et forme cran d'arrêt.

Un ressort d'horlogerie, placé derrière la roue *e*, est tellement posé que lorsque la roue *e* est entraînée par le moteur électrique, ce ressort se tend de lui-même. Dès que le moteur cesse d'agir, le ressort ramène en sens inverse la roue *e* et la replace à sa position primitive.

F est un troisième ressort fixé à l'extrémité de l'isolant D. Son extrémité libre est inclinée au-dessous vers la roue *e* et placée dans un plan intermédiaire entre celui de la roue *e* et celui du levier *f*. Lorsque le levier *f* se déplace dans le sens de la flèche (sous l'action du moteur électrique), il passe sous ce ressort F en soulevant cette extrémité libre. Quand il se déplace en sens inverse, il passe au-dessus et est obligé de se soulever lui-même en se dégageant par suite du ressort E : un ressort *h* et un guide *g* permettent à ce levier d'effectuer ce changement de position.

En chacun des postes, les ressorts E et F et l'isolant D occupent une position différente par rapport au point de départ commun des leviers F. Comme le montre la figure, le poste de l'abonné est relié au ressort E et la ligne au levier F.

Au poste central, le levier F est remplacé simplement par une aiguille se déplaçant devant un cadran fixe qui occupe la position de la roue *e*.

En appuyant sur une clef, on envoie le courant dans

tous les moteurs qui se mettent en marche simultanément et avancent synchroniquement. Lorsqu'au poste central, l'aiguille est en regard de la position correspondant à l'abonné 3 par exemple, si c'est l'abonné 3 que l'on veut appeler, l'opérateur cesse d'envoyer le courant. Dans toutes les stations, sauf dans la station 3, les ressorts d'horlogerie ramènent les roues *e* à leurs positions initiales : pour les postes où ce levier *f* n'a pas encore atteint le crochet du ressort E, cela ne souffre aucune difficulté. Pour les autres, le levier *f* a dépassé l'extrémité libre de l'autre ressort F et par suite, sous l'action de celui-ci, il se dégage de E et revient également à sa position initiale ainsi que la roue.

Au poste n° 3 seulement, le levier F ayant passé sous le crochet de E sans avoir encore atteint l'extrémité de F, reste retenu par le ressort E. Le contact est donc établi en ce poste, et rien qu'en celui-là entre la ligne et la sonnerie par l'intermédiaire de E et du levier *f* en contact.

Lorsqu'il s'agit de ramener cet appareil au repos, il suffit d'envoyer un nouveau courant sur la ligne durant un instant très court qui cette fois fait dépasser au levier *f* l'extrémité de F et lui permet par suite de se dégager du ressort E. Le ressort antagoniste ramène alors de lui-même l'appareil à sa position de repos.

Ce système est des plus intéressants ; il réalise presque toutes ces conditions demandées dans le problème de l'embrochage des postes. Le prix élevé des appareils explique seul le peu d'application qui en a été tenté.

(*A suivre.*) E. ESTAUNIÉ.

EXPÉRIENCES

FAITES

PAR L'ÉTABLISSEMENT D'OERLIKON

POUR LE TRANSPORT DE L'ÉNERGIE ÉLECTRIQUE

ENTRE HEILBRONN ET FRANCKFORT-SUR-LE-MEIN

Par M. le Dr Oscar MAY

On sait que la « Fabrique de machines d'Oerlikon » (Suisse) a projeté en société avec « l'Allgemeine Elektricitäts Gesellschaft » de Berlin, de transporter de Lauffen près Heilbronn à Francfort-sur-Mein, pendant la durée de l'Exposition internationale d'électricité qui s'ouvrira cette année dans cette ville, une force hydraulique de 300 chevaux qu'on utilisera sur le terrain de l'exposition pour actionner les moteurs et pour l'éclairage.

La distance à franchir dans cette installation ne s'élève pas à moins de 180 kilomètres. La perte de tension qu'on s'est assignée doit être de 10 p. 100 ; la section du conducteur (trois fils de 4 millimètres de diamètre chacun) est de 38 millimètres carrés. D'où les égalités :

$$v = \frac{0{,}0182 \times 2 \times 180.000 \times i}{19}$$

$$v = \frac{10}{100} e \qquad e = \frac{220.800}{i}$$

dans lesquelles :

i représente l'intensité du courant en ampères;
e, la tension;
v, la perte de tension en volts (10 p. 100);
0,0182, la résistance spécifique à la conductibilité du cuivre;
180.000, la longueur en mètres de chacun des fils conducteurs;
19, la moitié de la section totale des conducteurs en millimètres carrés.

Le nombre 220 800 égal à 736×300 (les 300 chevaux à transmettre exprimés en volt-ampères) signifie qu'on aura à transmettre le courant sous une intensité $i =$ environ 8 ampères, et par conséquent une tension $e =$ environ 27 600 volts.

On n'a jamais jusqu'ici transporté de courant d'une tension si énorme. La plus haute tension sous laquelle on a essayé de transmettre le courant électrique, celle du conducteur primaire de l'usine d'électricité de Deptford, à Londres, ne s'élève qu'à 10 000 volts ; et cette installation n'est pas encore en marche régulière, parce qu'on n'a pas vaincu complètement les difficultés de l'isolation de la conduite sous cette tension. D'autre part, s'il est évident que les tensions de 20 000 volts ou davantage n'offrent pas plus de dangers que celles de 1 000 volts, puisque celles-ci exposent déjà la vie humaine, si l'on néglige de prendre les précautions indispensables, il n'en fallait pas moins démontrer qu'avec une distance telle que celle qu'on projetait ici de franchir, la mise en œuvre d'un courant dépassant en tension tous les précédents offrirait toute satisfaction au point de vue de la sécurité de l'exploitation et de l'isolation et éviterait tout danger.

L'utilisation des forces naturelles comme les chutes

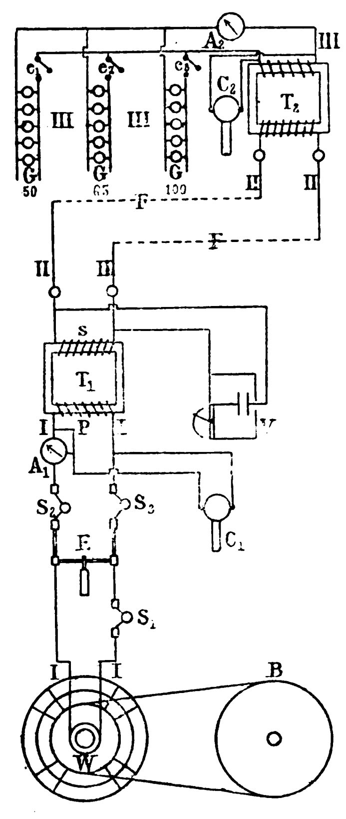
d'eau et les dépôts de charbon, au moyen de grandes usines génératrices d'où la force est conduite d'une manière rationnelle vers la multitude des lieux où l'on doit l'employer, est une nécessité qui s'impose et qui prévaudra, en dépit des craintes soulevées par les courants de haute tension. La technique est arrivée assez loin aujourd'hui pour aborder victorieusement cette tâche.

On se trouve dans la même situation qu'au temps de l'invention des machines à vapeur, de l'éclairage au gaz, des chemins de fer. Mais il y a cette différence capitale que les dangers que ces inventions firent pressentir dans le principe étaient bien plus grands ; et, de fait, depuis la généralisation de leur emploi, toutes les précautions et les prescriptions légales n'ont pu les empêcher de coûter chaque année des milliers de vies humaines, tandis que le nombre d'accidents causés par l'électricité « sous tension mortelle », pendant la série d'années déjà longue depuis laquelle l'usage s'en est répandu, est tout à fait insignifiant.

Pour l'exécution de la transmission de force d'Heilbronn à Francfort, il fallait le consentement des autorités administratives de Prusse, de Wurtemberg et du Grand-Duché de Bade, que la ligne traversera. La Commission directrice de l'Exposition de Francfort a donc invité les trois États à déléguer des représentants pour examiner les modèles installés à l'établissement d'Oerlikon. Cet examen a eu lieu le 24 janvier dernier.

L'explication des expériences faites à cette occasion sera suivie sur la figure 1 dans laquelle B représente la force motrice ; W, la machine génératrice du courant alternatif ; S_1, S_2, S_2, les coupe-circuit fusibles ; A_1 et A_2, les ampèremètres ; T_1 et T_2, les transforma-

teurs ; C_1 et C_2, des voltmètres Cardew ; V, un voltmètre Thomson ; G_{50}, G_{65}, G_{100}, des lampes à incandescence à 50, 65 et 100 volts; F, le conducteur à grande distance (I, circuit primaire ; II, circuit secondaire).



La force motrice B était représentée par un des moteurs électriques de l'usine ; le mouvement était communiqué au générateur à courants alternatifs W par courroie. L'excitation était aussi produite par le même moteur. La tension de la machine à courants alternatifs pouvait être de 40 à 100 volts, suivant le nombre de tours. Cette machine fournit donc un courant de basse tension et de grande intensité (à l'usine de Lauffen près Heilbronn, environ 50 volts × 4 000 ampères). En ceci, le système d'Oerlikon diffère radicalement des systèmes à transformateurs en usage jusqu'ici. On compte que, des sections considérables des fils et de la diminution du nombre des bobines que cette disposition comporte, il résultera une économie du prix de construction de la machine et une très importante augmentation de sécurité dans l'exploitation.

L'énergie électrique à basse tension est transmise de la machine à courants alternatifs au transformateur T_1 par la conduite primaire I. Cette dernière est munie d'un coupe-circuit unipolaire S_1 très sensible, d'un commutateur bipolaire E et de deux coupe-circuit S_2 S_2. Ces appareils de sûreté, système Cockburne, consistent en un fil de plomb auquel est fixé un poids relativement lourd (une balle de plomb). Ils sont intercalés dans la conduite primaire parce que c'est dans celle-ci qu'on dispose de la plus grande intensité. Si, par suite d'un défaut d'isolation, d'un excès de charge ou d'un court circuit, l'intensité du courant devenait trop grande dans la conduite primaire ou dans la conduite secondaire, et si le fil de plomb du coupe circuit était près de fondre, le fil de plomb serait rompu aussitôt par le poids de la boule, et, par conséquent, un rétablissement du circuit par la coulée interrompue du plomb fondu ne serait pas possible. Je reviendrai sur la précision de cet effet dans la description des expériences.

L'intensité du courant dans le circuit primaire est indiquée par l'ampèremètre A_1, la tension par le voltmètre Cardew C_1.

Le transformateur T_1, système Brown, consiste en un noyau prismatique formé de disques en tôle de fer, sur lequel sont deux bobines de section circulaire, isolées l'une de l'autre, dont l'une porte l'enroulement primaire, l'autre l'enroulement secondaire. Le circuit magnétique est fermé par deux pièces en fer repliées à leurs deux extrémités (*fig.* 2).

Des essais ont démontré qu'avec de si hautes tensions, le caoutchouc durci, employé sous l'épaisseur de quelques millimètres, donne une isolation sûre aussi

longtemps qu'il est compacte, mais que, dès qu'il s'y produit une déchirure, les décharges peuvent avoir lieu à travers la fente. Mais certaines sortes d'huile ont comme isolant, une valeur égale à celle du caoutchouc; c'est pourquoi, en vue d'éviter la possibilité de décharges

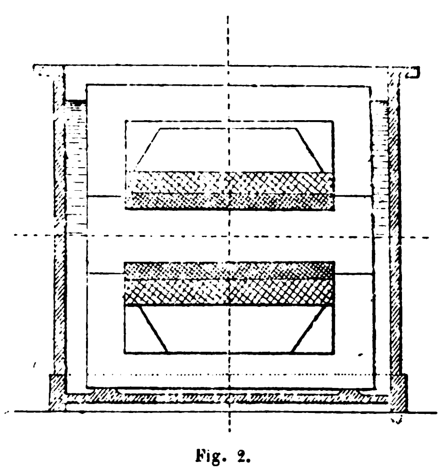


Fig. 2.

dans le transformateur, on a plongé celui-ci dans un vase plein d'huile ; ce liquide, en remplissant tous les interstices des organes, empêche absolument toute pénétration d'air qui pourrait mettre l'isolation en danger. M. Brown affirme que des transformateurs protégés de la sorte marchent avec une entière sécurité sous la tension de 50 000 volts.

L'enroulement du transformateur est combiné pour multiplier la tension primaire par 300. Les tensions de 40, 50, 65, 100, 110 volts fournis par la machine à courants alternatifs deviennent donc égales à 12 000, 15 000, 20 000, 30 000 et 33 000 volts dans le circuit secondaire.

La conduite consistait, à Oerlikon, en environ 1 kilomètre de fil de cuivre nu de 4 millimètres de diamètre, replié en quatre lignes parallèles posées sur des appuis communs. Elle est isolée de la terre au moyen d'isolateurs en parcelaine de Johnson-Phillips, de Londres

(*fig*. 3). Dans ces isolateurs, le rebord inférieur forme une rigole circulaire, dans laquelle on met une couche d'huile qui sépare la surface intérieure de la surface extérieure. Quand la surface extérieure, mouillée par la pluie, pourrait devenir conductrice, la surface intérieure reste sèche et s'oppose à la formation d'une terre. Si la surface intérieure se couvre d'humidité, par exemple en temps de brouillard, l'eau condensée coule dans la rigole et se rend au fond de celle-ci, sous l'huile qui reste toujours à la surface, en vertu de sa légèreté spécifique.

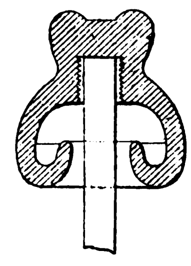


Fig 3.

Ces isolateurs ont subi avec succès l'épreuve de plusieurs années d'expérience. Dans la transmission de force entre Soleure et Krieg-Stetten, exécutée en 1886 par les ateliers d'Oerlikon, on a constaté que la perte d'isolation par eux est nulle en pratique avec la tension de 2 500 volts employée sur cette ligne. On a aussi trouvé que leur pouvoir isolant n'est pas diminué par le dépôt de poussière ; ce dépôt n'est que très faible à la surface de la couche d'huile, parce que les courants d'air pénètrent peu dans l'intérieur du godet. Ces propriétés les ont fait adopter depuis assez longtemps dans certaines parties de l'Inde où les isolateurs des lignes télégraphiques sont exposés aux ouragans de poussière et de sable. L'huile est introduite dans les rigoles au moyen d'une pompe foulante.

Pour éprouver l'isolation, on a arrosé les isolateurs au moyen d'un fort jet d'eau. Un voltmètre Cardew relié à la conduite secondaire et à la terre n'a indiqué aucune dérivation sous la tension (primaire) de 100 volts. D'après les données fournies par Oerlikon, on

n'a remarqué non plus aucune déviation pendant un récent ouragan de neige.

Le nombre des isolateurs employés dans les expériences était de 120. Suivant l'usage adopté par les ateliers d'Oerlikon dans leurs installations, ils supportaient le fil de cuivre nu de 4 millimètres à des intervalles de 80 à 100 mètres ; les isolateurs employés dans les expériences représentaient donc la résistance d'isolement d'une conduite de 10 à 12 kilomètres.

La tension dans la conduite secondaire était mesurée au moyen d'un voltmètre électrostatique V de sir William Thomson. Cet appareil renferme un plateau métallique relié à l'un des pôles de la conduite. Au fléau est fixé un indicateur qui se meut sur une graduation. En y suspendant différents poids, l'instrument est utilisable pour des tensions jusqu'à plus de 50 000 volts. Son jeu repose sur l'attraction électrotastique de deux plateaux métalliques qui reçoivent une charge statique par leur mise en communication avec la conduite. La charge statique et, avec elle, la grandeur de l'attraction du plateau fixé au fléau vers le plateau fixe inférieur dépend de la tension. La comparaison des indications de l'instrument avec celles des voltmètres Cardew C_1 et C_2 a montré qu'elles étaient suffisamment proportionnelles.

La conduite secondaire est reliée au transformateur T_2. Le rapport de la transformation dans celui-ci étant 300 : 1, la tension s'y trouve ramenée à ce qu'elle était dans la conduite primaire (c'est-à-dire à la tension fournie par la machine W). Ce transformateur est, comme le premier, plongé dans un récipient plein d'huile.

Sur la conduite tertiaire III sont placés un ampère-

mètre A_2, un voltmètre Cardew C_2 et trois séries G de chacune 10 lampes à incandescence montées en dérivation, et prenant respectivement 50, 65 et 100 volts. Suivant la tension sur laquelle on expérimente, on intercale l'une ou l'autre de ces trois séries de lampes au moyen des interrupteurs e_1 e_2 ou e_3.

Les expériences ont été exécutées sur des tensions secondaires de 12 000, 15 000, 20 000, 30 000 et 33 000 volts. Un intérêt tout particulier s'attachait à celles qui se rapportaient au fonctionnement des coupe-circuit, et à celui d'une ligne téléphonique voisine et parallèle.

Pour éprouver le fonctionnement des coupe-circuit, l'on s'est servi et d'un court circuit direct et d'un courant de décharge. Comme on l'a vu plus haut (*fig.* 1), ces appareils sont placés sur le circuit primaire; les intercaler dans le circuit secondaire ne serait pas faisable, parce que la faiblesse de l'intensité conduirait à devoir employer des fils fusibles trop minces. Lorsqu'on a mis la conduite secondaire en court circuit au moyen d'un fil de cuivre, le plomb de sûreté s'est fondu instantanément. On a formé le court circuit en laissant tomber le fil de cuivre sur les deux fils secondaires. La rupture du fil de sûreté est, comme on sait, accompagnée d'un bruit léger; il en est de même de la formation d'un court circuit dans une conduite, si elle n'est que momentanée. Or il n'a pas été possible à l'oreille de percevoir le moindre intervalle de temps entre le bruit du court circuit de la conduite secondaire et celui dû à la fusion du fil de sûreté. L'extrême promptitude du fonctionnement du coupe-circuit a encore été rendue évidente par ce fait que ni les fils secondaires, ni le fil formant court circuit ne portaient la moindre trace de brûlure, bien que, par suite des

dispositions et du mode de manipulation adoptés, ce fussent toujours exactement les mêmes points des fils qui venaient en contact chaque fois qu'on formait le court circuit.

Pour produire une décharge, on a fixé aux conduites secondaires deux bouts de fil dont les extrémités étaient distantes de 22 millimètres. Quand la tension dans la conduite secondaire a atteint à peu près 18000 volts, les premières étincelles se sont montrées. A 18000 volts, un arc s'est formé et a disparu à l'instant même, le plomb de sûreté s'étant aussitôt fondu.

Pour expérimenter l'effet du courant secondaire sur une conduite téléphonique, on a posé sur les poteaux de la conduite secondaire un conducteur téléphonique de même longueur ; je dois rappeler ici que la conduite secondaire était disposée, non comme on le voit sur le dessin schématique de la figure 1, mais en quatre lignes parallèles. Néanmoins, l'audition téléphonique ne laissait absolument rien à désirer, bien qu'on perçût distinctement un faible bruit causé par l'induction de la conduite secondaire posée si proche.

Ces expériences n'étaient, naturellement, que d'ordre qualificatif ; elles avaient pour but de démontrer que l'exploitation téléphonique entre Heilbronn et Francfort-sur-Mein resterait parfaitement assurée. Quant au fonctionnement des appareils de sûreté, il a rendu évident que dans le cas de courts-circuits — comme il peut s'en former à la suite du renversement de poteaux de la ligne — la marche du courant serait interrompue instantanément dans toute l'installation. L'isolation de la ligne est restée parfaite dans les circonstances les plus défavorables qu'on puisse imaginer, provoquées artificiellement (arrosage des isolateurs et

des poteaux). Enfin l'on ne peut admettre qu'aucun accident soit possible par la rupture des fils. L'installation présente donc toutes les garanties imaginables de sécurité.

Les courants engendrés à la station de Lauffen (Heilbronn) ne seront pas, comme dans les expériences faites aux ateliers d'*Œrlikon*, des courants alternatifs, mais des courants de l'espèce dite *rotative* ou à *phases multiples*.

L'inventeur de ce système, M. von Dolivo Dobrowolsky, ingénieur en chef de l' « Allgemeine Elektricitäts Gesellschaft » de Berlin, a eu l'obligeance de m'initier à ses intéressantes particularités, qui n'ont pas encore été publiées. M. von Dobrowolsky se propose de les faire connaître *in extenso* au Congrès d'électriciens qui doit se tenir à Francfort pendant l'exposition. Déférant à son désir, je me borne aux explications provisoires que voici :

Le *courant rotatif* Dobrowolsky est un système de courants alternatifs dont les phases se succèdent réciproquement. Ordinairement, trois courants alternatifs sont employés ; mais ce nombre peut être augmenté pour certaines applications. Ces courants sont engendrés par une machine à courants alternatifs de construction spéciale, excitée par un courant continu, et munie de trois *cercles de friction* ou d'un nombre plus grand, si le nombre des courants successifs à produire est supérieur à trois. Avec trois courants, les phases de chacun des courants se succèdent à 120 degrés.

Les impulsions des courants se succèdent soit dans l'ordre 1, 2, 3 — 1, 2, 3, — 1, 2, 3, soit dans l'ordre 3, 2, 1, — 3, 2, 1, — 3, 2, 1, et, dans cette succession, produisent une induction rotative. A cet égard, le courant rotatif à la différence du courant alternatif

possède une direction. La différence entre le courant continu, le courant alternatif et le courant rotatif se manifeste dans leur mode d'action respectif sur une aiguille aimantée autour de laquelle ils circulent. Le courant continu décrivant un cercle autour de l'aiguille la fait dévier dans la position dans laquelle il y a équilibre entre son action et l'action du magnétisme terrestre sur l'aiguille ; si le courant reste constant, l'aiguille reste immobile dans cette position. Avec le courant alternatif, l'aiguille subit une oscillation autour de la position de repos déterminée par l'unique action du magnétisme terrestre. Le courant rotatif communique à l'aiguille un mouvement de rotation continu.

Si l'on remplace l'aiguille aimantée par un cylindre en fer, on obtient un électro-moteur à courant rotatif, dont la partie mobile ne possède ni enroulement, ni collecteur, ni cercles de friction et n'a pas besoin d'être intercalé dans un circuit. Les petits électro-moteurs ont un cylindre en fer massif, monté sur un arbre en acier. Cette pièce forme à elle seule l' « armature », si ce mot peut s'employer ici. Elle se trouve à l'intérieur du champ magnétique engendré par le courant rotatif, est revêtue d'une chemise en cuivre et peut recevoir diverses modifications de forme. Les armatures des grands moteurs possèdent, de plus, pour certaines raisons, un enroulement et des anneaux de friction.

Dans tous les moteurs à courants rotatifs, le champ magnétique est excité par le courant rotatif ; il est lui-même rotatif, c'est-à-dire que les pôles changent constamment de position, entraînant avec eux l'armature en fer du moteur par l'induction magnétique.

Les électro-moteurs à courants rotatifs se mettent en marche d'eux mêmes, comme ceux à courants con-

tinus, même sous charge, tandis que les électro-moteurs à courants alternatifs ne peuvent commencer à tourner, même à vide, que dans certaines positions. Le moteur à courant rotatif a de plus l'avantage de n'être pas plus grand qu'un moteur à courant continu de même puissance et fonctionne absolument sans bruit. Sous ces rapports, il est très supérieur au moteur à courants alternatifs. Comparé aux moteurs à courants continus, il a l'avantage de la simplicité de construction et celui — corollaire du premier — de la plus grande sécurité de marche et de la plus extrême simplicité de service qu'on puisse imaginer.

De même que le moteur à courant continu, le moteur à courant rotatif n'est pas synchrone et ne peut se régler sans que la résistance influe sur la vitesse. Le nombre de tours varie avec la charge ; mais la différence n'est que de quelques centièmes entre la vitesse à pleine charge et la vitesse à vide. En cas de surcharge, le moteur ne s'arrête pas ; le nombre de tours diminue seulement en proportion.

M. von Dobrowolski m'a dit avoir trouvé l'effet utile technique d'un moteur à courant rotatif de deux chevaux égal à 82 p. 100 avec des charges comprises entre $1^{ch},5$ et $2^{ch},5$. D'après ceci, l'effet utile égalerait celui des meilleures machines à courant continu.

Le moteur à courant rotatif déploie son effort maximum dès le premier moment de la mise en marche. En agissant de toutes mes forces, je n'ai réussi à retenir que peu d'instants un moteur qu'on mettait en mouvement.

Dans la machine à courant rotatif, on produit le courant sous une faible tension, 50 volts, et une grande intensité (4 000 ampères à Lauffen). Les courants sont livrés à trois conducteurs primaires, qui les conduisent au transformateur de courants circulaires.

Celui-ci transforme tout le système de courants en bloc. Il se compose de trois noyaux, reliés ensemble à l'une de leurs extrémités et fermés à l'autre bout par un anneau en fer ; en d'autres termes, l'appareil a la forme d'une roue à trois rais, dans laquelle les rais sont les noyaux. Chaque noyau porte un enroulement primaire et un enroulement secondaire. L'isolement de ces transformateurs est assuré par l'immersion dans un bain d'huile, comme on l'a vu plus haut. L'aimantation des noyaux y est rotative, comme je l'ai expliqué.

Tandis que les trois conducteurs des courants doivent être dirigés sur les bobines de trois moteurs lorsqu'on veut employer les courants comme force motrice, deux seulement des trois conducteurs sont mis en œuvre pour chaque lampe à incandescence ou à arc, quand c'est d'éclairage qu'il s'agit; on répartit les groupes de lampes entre les trois conduites.

Une installation à courant rotatif, actuellement en montage, doit transmettre de Bulach aux ateliers d'Oerlikon une force hydraulique de 4 à 500 chevaux fournie par trois turbines, dont une de réserve. Trois dynamos à courants rotatifs, à arbres verticaux, sont couplées directement aux turbines, et livreront chacune un courant de 4 000 ampères à 50 volts. La tension sera portée à 25 000 volts et l'intensité réduite à 8 ampères dans les transformateurs. Ces rapports sont les mêmes que ceux qu'on se propose pour la transmission de force d'Heilbronn à Francfort.

La distance de Bulach à Oerlikon est de 22 kilomètres. La conduite consiste en quatre fils de cuivre nu de 4 millimètres chacun, dont un de réserve. La perte de tension ne s'élèvera qu'au huitième de celle de la ligne d'Heilbronn à Francfort, c'est-à-dire à

1/4 p. 100. Les isolateurs de la ligne seront du système Johnson et Phillips, décrit plus haut; les poteaux en bois, auront environ 8 mètres de hauteur. On établira de plus sur les poteaux une ligne téléphonique de Bulach à Oerlikon et, sur leurs têtes, un paratonnerre, précaution dont on s'est déjà bien trouvé pour les conducteurs de chemins de fer électriques dans les pays alpins, où les ouragans sont fréquents.

Aux ateliers d'Oerlikon, la tension sera réduite, à 50 volts et l'intensité reportée à 4 000 ampères. Les courants seront livrés sous cette forme à trois moteurs à courants rotatifs couplés directement sur les arbres de commande pour faire marcher les ateliers et, si la force hydraulique suffit, pour les éclairer.

La force hydraulique de Lauffen subira les mêmes transformations pour l'éclairage de la ville d'Heilbronn, distante de 20 kilomètres. La transmission jusqu'à Francfort, pendant la durée de l'exposition, ne servira qu'à l'utilisation temporaire de l'installation définitive faite dans ce but.

En résumé, les deux seules innovations que renferme le système qui vient d'être décrit — à part les courants rotatifs — sont la rélégation de la haute tension dans la seule conduite secondaire, à l'exclusion de la dynamo, et la garantie de l'isolation des transformateurs par leur immersion dans l'huile; mais ces deux innovations donnent à l'exploitation, ainsi que les essais l'ont démontré, un degré de sécurité non encore atteint jusqu'ici, même avec l'emploi de 33 000 volts de tension.

(*Elektrotechnischer Anseiger.*) J.

(Traduction de l'*Électricien*).

ÉTUDE SUR LES CONDENSATEURS

Extrait d'une Étude sur les condensateurs, par MM. MAURICE HUTIN et MAURICE LEBLANC.)

Résultats d'expériences relatives aux condensateurs.

Nous avons étudié deux types de condensateurs les uns pour les tensions moyennes (jusqu'à 2.500 volts) avec isolant en papier paraffiné; les autres avec isolant en ébonite.

Les premiers, qui avaient été construits par M. Labour, fournirent des résultats assez singuliers qui nous paraissent devoir être relatés. On avait employé pour leur fabrication du papier de qualité très médiocre et de la paraffine commune chauffée à 70°.

Leur capacité mesurée par les méthodes ordinaires indiquait un pouvoir inducteur spécifique de 8 environ pour le diélectrique, mais la décharge résiduelle était à peu près le 1/4 de la première décharge.

Si on mesurait leur capacité en y lançant un courant alternatif de 75 périodes d'intensité connue, et notant la différence de potentiels entre leurs bornes, on trouvait que le pouvoir inducteur spécifique apparent avait une valeur plus petite de 1/3 environ que celle trouvée en premier lieu.

Enfin, lorsqu'on les soumettait à l'action suivie d'une différence de potentiels alternative comprise entre 1.500 et 2.000 volts, ils s'échauffaient assez rapide-

ment, la paraffine fondait, le condensateur se mettait à chanter, et si l'on n'arrêtait pas l'expérience, il était bientôt détruit.

Nous avions d'abord attribué ce résultat à la mauvaise qualité des produits employés, mais nous n'avons obtenu aucun bénéfice sensible par l'emploi du papier et de la paraffine de choix.

Cherchant à nous rendre compte des phénomènes observés, nous pensâmes que le papier étant un corps organisé, les cellules qui le constituaient renfermaient chacune une goutte extrêmement petite de liquide. De même, la paraffine pouvait conserver des traces de l'acide sulfurique qui avait servi à la purifier. Nous devions être en présence du diélectrique étudié par Poisson, soit un diélectrique parfait parsemé de sphères conductrices. Le grand pouvoir inducteur spécifique constaté et l'échauffement en service se trouvaient ainsi expliqués.

Il nous parut probable que si on chauffait préalablement pendant plusieurs heures le papier dans la paraffine à la température de dissociation de cette matière, la constitution organique du papier serait détruite et que la paraffine éliminerait toutes les traces d'acide qu'elle pouvait renfermer.

L'expérience justifia cette prévision. Le papier sorti de la paraffine avait changé complètement d'apparence, augmenté d'épaisseur, et toute trace de fibre avait disparu. Le pouvoir inducteur spécifique de ce diélectrique se trouva réduit à 2,56, la décharge résiduelle était devenue insignifiante et les condensateurs fabriqués de cette manière ne chauffaient plus.

Mais ce mode de préparation du papier est très coûteux à cause de la grande quantité de paraffine qui se

décompose. De plus, les feuilles se collant les unes sur les autres, on est obligé de les maintenir chaudes pour les séparer au fur et à mesure, ce qui constitue une opération difficile et délicate. Il en résulte une grande augmentation dans le prix de la main-d'œuvre.

Pendant le temps de cette fabrication, nous fîmes beaucoup d'expériences avec les premiers condensateurs, qui étant considérés comme défectueux furent fort malmenés et eurent souvent à supporter des différences de potentiels de 4.000 volts.

Ayant eu besoin plus tard de mesurer la capacité d'un certain nombre d'entre eux, nous fûmes surpris de la trouver beaucoup plus faible que nous ne l'avions prévu. Le pouvoir inducteur spécifique du diélectrique était devenu égal à 2,56. Il nous parut logique d'examiner si l'échauffement n'aurait pas également diminué : l'expérience répondit à notre attente. Ces condensateurs, très défectueux au début, ne chauffaient plus et étaient devenus excellents.

Pour élucider tout à fait cette question, nous fîmes faire une série de condensateurs semblables et les mimes en service pendant plusieurs jours, en notant soigneusement les accroissements de température. Tout se passa comme il était prévu : les condensateurs chauffèrent de moins en moins, et au bout d'une dizaine de jours d'expériences à peu près continues, sous la tension de 1.500 volts, ils devinrent équivalents aux premiers.

Il résulte de ce qui précède qu'on peut obtenir d'excellents résultats avec des condensateurs en papier parafiné ; qu'on n'a pas à se préoccuper en pratique de la qualité des produits, à la condition de les faire passer par une période de formation, dans les conditions

qui viennent d'être indiquées. Il ne faut les mettre en service qu'en les surveillant attentivement et les laissant reposer dès qu'ils s'échauffent sensiblement.

Voici d'ailleurs une règle pratique très facile à suivre : un condensateur fonctionnant sans émettre aucun son ne court aucun risque; dès qu'il commence à vibrer, il est en danger.

On comprend facilement que ce que l'action de la chaleur avait pu faire en quelques heures (trois en moyenne), le déplacement électrique qui se produisait au sein de toutes les particules conductrices renfermées dans la masse avait pu le faire à la longue.

Cela met en évidence cette propriété des courants alternatifs généralement reconnue aujourd'hui, à savoir, que leur action sur les diélectriques est plutôt bienfaisante que nuisible. Il est facile de s'en rendre compte.

Sous l'action d'une différence de potentiels constante, toutes les molécules conductrices renfermées dans un diélectrique, s'orientent une fois pour toutes comme les anions et les cations d'un électrolyte. Ces molécules tendent à se mouvoir les unes vers les autres, ce qu'elles ne peuvent faire qu'en se frayant un chemin au travers du diélectrique et altérant ainsi sa constitution.

Sous l'action d'une différence de potentiels alternative, il y a déplacement électrique à l'intérieur de la masse conductrice elle-même. Or, nous n'avons jamais pu faire passer un courant alternatif, même de densité très faible, dans un liquide gazeux sans amener des traces de dégagement gazeux. N'est-il pas logique d'admettre qu'il se passe la même chose au sein de la molécule conductrice, et que les gaz produits ne sont jamais

entièrement recombinés? Il ne pourrait d'ailleurs en être ainsi, car il n'y a pas de transformation dont le rendement soit égal à 1. Nous nous expliquons de cette manière que toutes les substances imparfaitement conductrices et qui ne peuvent transmettre l'électricité qu'à la façon des éloctrolytes, que peut renfermer un diélectrique soient détruites avec le temps, sous l'influence d'une différence de potentiels alternative et avant que la masse du diélectrique ait été sensiblement altérée par l'action de ces molécules les unes sur les autres.

Les condensateurs en ébonite nous ont donné entière satisfaction. Les capacités mesurées par la méthode ordinaire ou par l'emploi de courants alternatifs étaient les mêmes; la décharge résiduelle était insignifiante. Enfin ils ne chauffent pas. Les feuilles d'étain étaient collées sur les plaques d'ébonite soit avec du chatterton, soit avec de l'arcanson fondu et étendu au pinceau. Les feuilles d'ébonite étaient maintenues sur une plaque chaude : elles se ramollissaient et devenaient très souples. On appliquait les feuilles d'étain au moyen d'un fer à repasser ordinaire chauffé.

C'est le chatterton qui nous a paru le mieux convenir comme mastic. Les condensateurs fabriqués de cette manière forment de véritables planches extrêmement solides.

L'ébonite le plus mince que nous ayons pu nous procurer avait 2/10 de millimètre d'épaisseur : nous n'avons pas pu la crever sous la tension de 11.000 volts, la plus haute que nous ayons pu atteindre.

Le celluloïd nous a fourni aussi de bons résultats comme diélectrique, mais nous avons renoncé à nous en servir à cause de sa trop grande inflammabilité :

une étincelle suffit pour y mettre le feu. Cependant la variété connue sous le nom de linge américain ne présente pas cet inconvénient au même degré, et si nous n'avons pas continué nos expériences sur ce corps, c'est que nous avons fini par trouver de l'ébonite à très bas prix, soit $6^{f},50$ le kilogramme sous l'épaisseur de $0^{mm},5$ et 12 francs le kilogramme sous l'épaisseur de $0^{mm},2$. C'est cette ébonite que nous avons expérimentée.

Lorsqu'on élève beaucoup la tension que l'on fait supporter à un condensateur, on entend un bruit de *friture* en même temps qu'une odeur d'ozone se répand dans l'atmosphère. Dans nos expériences, nous nous servions d'une bobine de self-induction dont la tige de fer vibrait nécessairement suivant une période deux fois plus rapide que celle du courant. Le bruit de friture que l'on entendait nous a toujours paru être à la deuxième octave au-dessus du son rendu par la tige. Nous l'avons attribué à des décharges latérales dues aux harmoniques supérieures du courant. On devait pouvoir le supprimer en augmentant l'espace qui sépare les bords des feuilles d'étain de ceux des feuilles du diélectrique, et c'est ce qui est arrivé. Seulement il faut que cette distance soit au moins de 5 centimètres si l'on veut éviter tout bruissement lorsque la tension dépasse 10.000 volts mesurés à l'électromètre.

. . . .

Supposons le pouvoir inducteur spécifique du papier paraffiné égal à 2,56 et la distance des deux électrodes du condensateur égale à $0^{cm}001$. La surface des électrodes d'un condensateur d'un microfarad sera égale à

$$s = \frac{4\pi \times 0,001}{2,56} \times 9 \times 10^{5} = 0,4422 \text{ m}^{2}.$$

Un pareil condensateur supporte facilement une différence de potentiel alternative de 100 volts. Dans ces conditions, la quantité d'énergie maxima qu'il emmagasinerait serait égale à 0,01 joule.

La surface des plaques d'un condensateur du même genre qui emmagasinerait un joule serait de $44^{m^2},22$.

En supposant que l'épaisseur des feuilles de métal soit de $0^{cm},0001$, le volume total occupé par ce condensateur serait de $0^{lit},486$.

Le prix de revient du diélectrique constitué comme nous l'avons dit n'aurait aucune importance. On ne trouve pas dans le commerce de feuilles d'étain sous une épaisseur inférieure à 1/100 de millimètre, et plus minces elles sont d'ailleurs difficiles à manier. Mais nous avons vérifié qu'il suffisait de recouvrir le papier d'une couche de peinture à base de poudres métalliques (poudre de cuivre de préférence). Dans ces conditions on n'a plus à se préoccuper que de la main-d'œuvre, mais on conçoit facilement une machine qui permette de fabriquer le condensateur sans aucune intervention directe de la main humaine.

De cette façon, il nous sera facile de constituer des condensateurs pour intercaler dans les circuits parcourus par des courants de basse tension. Ils nous serviront dans la pratique pour équilibrer la self-induction des circuits secondaires de nos distributions d'électricité. Quant aux circuits primaires qui devront être parcourus par des courants de haute tension, nous y intercalerons des condensateurs dont le diélectrique sera formé avec des feuilles d'ébonite.

Maurice HUTIN, Maurice LEBLANC.

(*Lumière électrique.*)

LA

TÉLÉGRAPHIE MILITAIRE EN ANGLETERRE

LES INGÉNIEURS ROYAUX. LE BATAILLON DU TÉLÉGRAPHE LA 1re DIVISION

Depuis quelques années on envoie régulièrement camper pour une période de six semaines, pendant l'été, la première division du bataillon du télégraphe afin de lui fournir l'occasion d'exercer les hommes aux manœuvres de campagne. Cette année-ci les exercices ont été divisés en deux parties, dont la seconde est destinée à se rapporter aux manœuvres d'infanterie projetées pour l'autonne. On avait établi pour la première partie un programme basé sur l'idée d'expérimenter avec quelle vitesse pouvait être construite une ligne (de fil nu posée sur des poteaux de campagne légers), en supposant qu'il s'agissait d'une marche forcée. On avait choisi à cet effet la route d'Aldershot à Chevening, près de Sevenoaks, dont la distance est de 48 milles. L'opération a été exécutée comme il suit:

Chaque atelier constitué se composait de :

1 voiture contenant 6 milles de lignes aériennes ;
10 hommes à pied ;
1 sous-officier monté ;
6 chevaux de trait et 3 conducteurs ;

Deux ateliers formaient une section, et chacune des

quatre sections était commandée par un officier subalterne. On assigna à chacune une fraction du parcours, avec ordre de construire la ligne et d'aller camper à Chevening aussi rapidement que possible, une prime étant offerte au premier atelier arrivé. On devait tenir compte, pour la concession de la prime, de la bonne ou mauvaise construction de la ligne et de l'état des chevaux et des hommes.

Tous les ateliers partirent ensemble le 25 mai à 9 heures 30 du matin, et le jour suivant, à 3 heures 30 de relevée, une communication télégraphique était établie entre Aldershot et le camp de Chevening. Le premier atelier arriva à midi 30', le 26, mais il ne reçut pas la prime, parce que les chevaux présentaient quelques légères écorchures et par le fait qu'un atelier, arrivé à 2 heures 30, avait fait une meilleure construction et que les hommes et les chevaux étaient en parfait état. Les ateliers avaient bivouaqué en route pendant 5 heures environ de la nuit, à l'exception du n° 1, qui avait travaillé durant le jour et marché toute la nuit. D'après les résultats, on estime que les hommes et les chevaux auraient pu construire encore 20 milles de ligne avant la tombée de la nuit, le 26, de sorte que l'on peut évaluer à 70 milles de ligne aérienne au maximum ce que l'on peut construire par ce moyen en 24 heures.

Le 27 mai on continua la ligne de Chevening dans la direction de Chatham, et on la relia à une ligne venant de Chatham construite par le major Bagnold.

Le matériel employé était ce qu'on appelle du fil d'acier galvanisé de 3/18, attaché à des isolateurs en ébonite, fixés à des poteaux en bambou de 13 pieds de haut. La communication fut d'abord établie au moyen

de parleurs, puis à l'aide d'appareils à courant simple du Post-office, munis de relais Siemens.

Le camp du quartier général de la troupe était situé à Chevening, où pendant un certain temps on a fait usage d'un translateur sur la ligne. Tous les appareils fonctionnaient bien, quoique l'on eût constaté que la batterie de campagne n'était pas applicable à l'appareil de translation. Il est très nécessaire de donner une nouvelle forme à cette pile.

On a travaillé un jour en duplex, et l'on a obtenu un très bon résultat, étant donné le mauvais isolement causé par le contact des arbres qui est inévitable. Des téléphones ont été introduits chaque soir, à la fin de la journée, et la communication a été maintenue par ce moyen avec le mess des officiers à Chatham et aussi avec le mess d'Aldershot. Les appareils employés étaient le Gower-Bell, l'Ader et l'Ader combiné du major Bagnold avec un transmetteur Hunnings. Ils ont tous bien fonctionné ; on s'est servi très avantageusement du nouveau magnéto à la place de la sonnerie d'appel de la pile.

Dans une occasion, où une certaine station ne possèdait pas de magnéto pour répondre à la dernière station, le major Bagnold, qui était présent, relia un manipulateur à inversion de courant qui remplit le but admirablement.

Le 6 juin, dans la soirée, les ingénieurs royaux donnèrent un grand bal à Chatham. Un circuit téléphonique fut installé entre la salle de bal et le mess d'Aldershot, grâce auquel les officiers de ce dernier point purent converser avec leurs amis.

La ligne fut relevée le 15 et le 16 juin, et les troupes rentrèrent à Aldershot en trois jours.

En jugeant du travail exécuté on peut rappeler que l'Angleterre est peut-être le pays du monde où il est le plus difficile de construire une ligne de campagne, à cause des difficultés naturelles que l'on rencontre dans le pays; angles nombreux et croisements le long des routes, et de plus des droits des particuliers qu'il faut respecter en temps de paix. Toutefois, le résultat montre peut-être la plus grande vitesse obtenue jusqu'à présent dans la construction d'une ligne télégraphique.

On croit que les lignes de campagne en service devront être entièrement desservies par des employés exercés du general Post-office, car il n'est pas d'autres agents qui pourraient écouler d'une manière satisfaisante le nombre immense de télégrammes émanant des fonctionnaires d'une armée britannique.

CHRONIQUE.

Entreprise de l'établissement de lignes de télégraphie sous-marine : 1° entre Marseille et Oran; entre Marseille et Tunis.

Le 27 août 1891, à onze heures du matin, il a été procédé, rue de Grenelle-Saint-Germain, n° 103, à Paris, à l'adjudication publique en deux lots :

1° De l'entreprise de la fourniture et de la pose d'un câble télégraphique sous-marin entre Marseille et Oran;

2° De l'entreprise de la fourniture et de la pose d'un câble télégraphique sous-marin entre Marseille et Tunis.

Nous extrayons ce qui suit du cahier des charges y relatif :

. . . .

Le câble sous-marin à immerger entre Marseille et Oran ne devra prendre aucun point d'appui sur un autre territoire.

Le câble sous-marin à immerger entre Marseille et Tunis aura un atterrissement intermédiaire à Bizerte.

Les points d'atterrissement seront désignés à l'entrepreneur par un fonctionnaire délégué à cet effet par le Ministre.

Le câble d'atterrissement sera prolongé sur le rivage de part et d'autre, de manière à aboutir aux points qui seront indiqués pour le raccordement du conducteur sous-marin et des lignes terrestres.

Le câble sera neuf et construit conformément aux règles de l'art.

Conditions électriques. — L'âme du câble consistera en une cordelette de sept fils de cuivre du poids total de 48 kilogrammes par mille marin de 1.852 mètres, dont la résistance électrique à la température de 24 degrés centigrades ne devra pas dépasser 12 ohms légaux.

L'enveloppe isolante se composera de trois couches de

gutta-percha alternant avec autant de couches de composition résineuse (Chatterton compound), la première couche de cette composition étant placée directement sur le toron de cuivre. Les diverses couches devront être bien centrées et adhérentes entre elles et avec la cordelette en cuivre; elles ne devront renfermer aucune bulle d'air. La gutta employée sera de premier choix et bien homogène; elle devra se ramollir sans se boursoufler lorsqu'elle sera soumise à la chaleur d'une lampe à alcool et bien se prêter aux soudures. Pour vérifier cette qualité, les fonctionnaires de l'Administration pourront faire prélever, à quelque moment que ce soit de la fabrication, de petites quantités de la gutta-percha mise en œuvre, avec lesquelles des essais de soudure seront faits en leur présence sur des bouts fabriqués, afin de constater si la matière se soude bien à elle-même et sans difficulté anormale. La surface extériere de la gaine isolante sera régulière, parfaitement lisse et cylindrique. Le centrage et l'adhérence des couches pourront être vérifiés, quinze jours au moins après la fabrication, sur les deux bouts de chaque bobine et même en un point quelconque, si cela est jugé utile. Les bobines qui contiendraient des défauts de centrage, d'adhérence ou autres seraient refusées. Les autres seront acceptées dans l'état. L'enveloppe isolante aura un poids minimum de 63 kilogrammes par mille marin. Dans les essais qui seront faits sept jours au moins après la fabrication, avant que l'âme soit recouverte de son enveloppe extérieure, et après vingt-quatre heures d'immersion dans de l'eau à 24 degrés centigrades, le diélectrique devra avoir un isolement compris entre 300 et 1.500 mégohms par mille marin après deux minutes de charge, soit avec le courant positif, soit avec le courant négatif. Pour la réception du câble armé et prêt à être embarqué et celle du câble après son embarquement, l'isolement ne sera pas inférieur à 500 mégohms par mille marin; mais, dans ce cas, les corrections de température seront effectuées à l'aide d'une table etablie pendant la fabrication du câble par les agents de l'Administration, de concert avec l'adjudicataire.

La pile employée dans tous les essais d'isolement dont il s'agit n'aura pas une force électromotrice inférieure à celle de 200 éléments Daniell.

La capacité électrostatique, par mille marin, ne dépassera pas 36/100 de microfarad.

Les poids de cuivre et de gutta-percha sont exigés à 5 p. 100 près.

Un échantillon de l'âme, de 2 mètres de longueur, devra être déposé à l'Administration et soumis à son acceptation.

Conditions mécaniques. — L'âme sera revêtue d'une enveloppe de chanvre tanné ou de jute tanné, d'une épaisseur suffisante pour la protéger contre l'armature métallique.

Celle-ci se composera de fils métalliques jointifs, de nature, diamètre et nombre variables, conformément aux types suivants :

1° *Câble de grands fonds :* quinze fils d'acier (ou fer homogène) galvanisés, de $2^{mm},5$ de diamètre. Le fil d'acier employé devra offrir une résistance à la rupture de 78 à 80 kilogrammes par millimètre carré, de telle sorte que le câble ait une résistance minima de $5^{t},5$;

2° *Câble intermédiaire :* dix fils de fer galvanisés de 5 millimètres de diamètre. Le fil de fer employé devra supporter un poids d'environ 35 à 40 kilogrammes par millimètre carré, de telle sorte que la résistance à la rupture du câble ne soit pas inférieure à $7^{t},5$;

3° *Câble de côte :* première armature semblable à celle du câble de grands fonds. Elle sera entourée d'une gaine de filin de jute et revêtue d'une seconde armature formée de onze fils de fer galvanisés de 7 millimètres de diamètre. La résistance à la rupture du câble ainsi constitué ne devra pas être inférieure à 22 tonnes.

La galvanisation devra être telle que le fil supporte, sans que le fer ou l'acier soit mis à nu, même partiellement, quatre immersions successives, d'une minute chacune, dans une dissolution de sulfate de cuivre faite dans cinq fois son poids d'eau.

L'armature métallique sera enfin recouverte de deux garnitures d'étoupes ou toiles goudronnées, enroulées en sens inverse et imprégnées d'une composition bitumeuse et siliceuse, selon les règles de l'art.

Les longueurs de chacun des types sont estimées en milles marins de 1.852 mètres, comme il suit :

	Câble de Marseille à Oran.	Câble de Marseille à Tunis.
Câbles de grands fonds . . .	600^{m}	455^{m}
— intermédiaires	17	116
— de côte.	13	54
Total.	630^{m}	625^{m}

La façon dont les divers types devront être répartis dans chaque ligne sera notifiée à l'entrepreneur avant l'embarquement. Les longueurs des trois types qui ne seraient pas immergées resteront la propriété du Gouvernement. Il ne sera pas tenu compte à l'entrepreneur des quantités dépensées en plus des longueurs prévues.

L'entrepreneur fournira également les piles et appareils d'essai et de transmission nécessaires aux deux extrémités de la ligne. Ce matériel restera la propriété du Gouvernement.

. . . .

La fabrication du câble pourra être surveillée dans les usines de l'adjudicataire par les fonctionnaires délégués à cet effet. Toutes facilités leur seront données pour l'examen et l'essai des matières premières employées, ainsi que pour la vérification électrique de l'âme du câble en cours de construction et construit, et la vérification mécanique de ce dernier.

Ces fonctionnaires pourront assister à l'embarquement du câble et surveiller son lovage dans les cuves. Toute section qui ne se prêterait pas à un lovage régulier sera rejetée et remplacée par le fournisseur.

Le câble sera d'ailleurs transbordé directement des cuves de l'usine dans celles du navire qui devra l'immerger.

. . . .

Les lignes devront être immergées et en état de fonctionner le 15 novembre 1892 au plus tard.

. . . .

N'étaient admis à soumissionner que les industriels français possédant les qualités requises et les ressources suffisantes pour mener à bien l'entreprise. Ils devaient en outre faire connaître par leurs soumissions dans quelles usines seraient préparées les fournitures afin que le service télégraphique puisse les faire vérifier pendant toute la durée de la fabrication.

Trois maisons françaises avaient été admises à soumissionner :

La Société générale des téléphones, usines de Bezons (Seine-et-Oise) et de Calais (Nord);

La Société Menier, usines de Paris-Grenelle et de Rouen (Seine-Inférieure);

M. Grammont, de Pont-de-Chérui (Isère), usines de Pont-de-Chérui et de Saint-Tropez (Var).

Les résultates de l'adjudication ont été les suivants :

	1er lot. Marseille-Oran.	2e lot. Marseille-Bizerte-Tunis.
Société générale des téléphones. .	2.471.525f	2.912.375f
— Menier	2.642.500	2.944.650
Grammont	2.650.000	2.650.000

En conséquence, la Société générale des téléphones a été déclarée adjudicataire provisoire du 1er lot;

M. Grammont, adjudicataire provisoire du 2e lot.

Le délai de cinq jours pendant lequel les concurrents pouvaient faire des offres de rabais ayant expiré sans qu'il en ait été présenté, ces industriels ont été déclarés adjudicataires définitifs par décision ministérielle.

Nous avons donné, dans le dernier numéro, page 367, une description de l'usine de Calais; nous parlerons sous peu de l'usine de Saint-Tropez.

Exposition d'électricité au Palais de Cristal à Londres (1891)

Une Exposition d'électricité, établie dans les mêmes conditions que celle qui a obtenu un si brillant succès en 1881, aura lieu au Palais de Cristal en novembre 1891, et sera continuée pendant quelques mois.

L'Exposition comprendra : les appareils servant à la détermination des phénomènes et des lois de l'électricité et du magnétisme. — Les appareils de mesure et de contrôle de l'électricité. — Les batteries électriques. — Piles primaires et

secondaires. — Les machines et appareils destinés à produire les courants électriques par les moyens mécaniques. — Électricité dynamique. — Appareils servant à la régularisation des courants électriques. — Les moteurs électriques. — Applications des moteurs électriques. — Éclairage électrique. — Chauffage par l'électricité. — La métallurgie électrique et l'électro-chimie. — Les applications de l'électricité à la soudure, à la galvanoplastie, la trempe des métaux, la dorure, argenture, bronzage, etc. — Télégraphie et signaux électriques. — Le téléphone et ses applications. — Le phonographe. — Électricité médicale et chirurgicale. — Applications de l'électricité non encore déterminées jusqu'à ce jour. — Documents historiques et statistiques sur l'invention de l'électricité. — Progrès et développements de la science et de la construction des appareils électriques.

(*Bulletin international de l'électricité.*)

Fabrication électrolytique des tubes de cuivre Elmore.

Les tubes de cuivre électrolytique se fabriquent dans l'usine de l'*Elmore's Patent Copper Depositing C°*, à Hunslet, près de Leeds.

Comme matériel pour la génération du courant, il s'y trouve 3 machines Willans de 70 chevaux chacune (soit 210 chevaux), qui actionnent trois dynamos de Mather et Platt, et une d'Elwell Parker.

Chacune de ces dynamos donne, à raison de 450 révolutions, 37 kilowatts et demi, se décomposant en 750 ampères et 50 volts.

Les cuves électrolytiques sont en ce moment au nombre de soixante et disposées en série; leurs dimensions sont de $3^m,30$ de longueur sur $0^m,60$ de largeur et $0^m,91$ de profondeur.

Elles sont en bois, revêtues intérieurement d'une couche de bitume ou d'une autre matière semblable qui empêche le bois de s'imprégner de la solution.

Les cathodes de ces bains galvanoplastiques sont les moules,

c'est-à-dire les mandrins sur lesquels se formeront les tubes.

Les anodes consistent en cuivre granulé, qu'on se procure en faisant tomber d'une certaine hauteur du cuivre en pleine fusion, à la façon dont se fait le plomb de chasse. Le métal dont on se sert est du cuivre du Chili, à 97 p. 100, qui contient, paraît-il, 93 grammes d'argent et environ 16 grammes d'or par tonne. La présence de ces métaux précieux dans le cuivre est chose commune dans l'affinage, et si j'en parle c'est pour dire que la teneur d'or et d'argent est parfois beaucoup plus forte. Gore, par exemple, parle d'un cuivre qui contenait 598 grammes d'argent et 25 grammes d'or par tonne et répète l'histoire connue des 1.200 kilogrammes d'or qu'en 1880 on aurait retirés des boues de l'usine de Hambourg, où 160 cuves électrolytiques suffisent pour déposer 2.500 kilogrammes de cuivre toutes les vingt-quatre heures.

Dans la galvanoplastie ordinaire, il est préférable d'avoir des électrodes suspendues verticalement, mais dans les cuves Elmore et avec du cuivre granulé il ne faut pas songer à se servir d'une anode verticale, et les raisons qu'on a pour suspendre des plaques dont l'une est soluble disparaissent quand il s'agit de déposer une couche de cuivre sur un cylindre qui tourne. Il est plus simple d'avoir le cuivre granulé dans un plateau au fond de la cuve, et c'est ce qui se fait à l'usine Elmore, où la cathode tournant au-dessus de l'anode effectue une agitation constante et fait que l'électrolyte a toujours la même densité aux environs de la couche où a lieu le dépôt de cuivre.

Cette solution est toujours assez forte; elle se compose de sulfate de cuivre légèrement acidulé, avec addition d'un peu de sulfate de soude.

Avant de commencer la formation du tube sur le cylindre ou mandrin en fer qui sert de moule, et qui, j'ai à peine besoin de le rappeler, sert d'électrode et tourne 20 fois par minute, on revêt ce mandrin d'une pellicule de métal en le faisant passer dans une solution de cyanure de cuivre, de sorte qu'ensuite le dépôt s'effectue très uniformément sur cette enveloppe cuivrée.

On voit par conséquent qu'il est facile de faire des tubes dont la première couche, c'est-à-dire le revêtement intérieur

serait en cuivre, tandis que la couche extérieure pourrait être en nickel ou en tout autre métal.

Je n'insiste pas sur l'arrangement mécanique qui fait tourner le mandrin et qui fait passer un brunissoir tout le long du cylindre sur lequel il appuie, de façon à presser le métal au fur et à mesure qu'il se dépose.

Le rôle de ce brunissoir est des plus importants, car c'est à la pression qu'il opère qu'est due l'homogénéité du métal; en outre, cet outil qui appuie uniformément sur tout le contour du tube prédispose la séparation du moule et du cuivre que le courant y a appliqué; un modérateur de tension ingénieusement disposé empêche que ce brunissoir, qui est en agate, ne dépasse un certain maximum de force; c'est à cet instrument qu'on doit le dépôt adhésif, dense, fibreux du métal depuis le commencement jusqu'à la fin de l'opération. Tout se fait automatiquement, sans qu'il y ait danger d'oxydation puisque, mandrin et brunissoir, tout est immergé dans l'électrolyte.

(*La Lumière électrique*, 2 mai 1891.)

Sur les électromètres à quadrants.

Par MM. Ayrton, Perry et Sumpner (*).

L'observation suivante a été faite en 1886, sur un électromètre bifilaire à quadrants de sir W. Thomson à bouteille de Leyde, construit par M. White :

En chargeant l'aiguille de plus en plus et en maintenant entre les quadrants la même différence de potentiel, la déviation de l'aiguille au lieu d'augmenter d'une manière continue augmentait d'abord puis diminuait; la sensibilité est donc faible avec une très grande, ainsi qu'avec une faible charge de l'aiguille. M. Hopkinson avait décrit l'année précédente (**) une observation analogue; il dit comme explication de cet effet curieux que, si l'aiguille en aluminium est située plus bas que le centre des quadrants, l'attraction vers le bas, qui

(*) Mémoire présenté à la Société royale de Londres, le 4 juin 1891.
(**) *Proceedings of the Physical Society*, vol. VII, partie I.

varie comme le carré de la charge de l'aiguille, augmente l'effort sur la suspension bifilaire, et que cet effet pour de fortes charges compense et au delà le couple déviant dû à l'action électrique. Lorsqu'on monte l'aiguille au-dessus du centre des quadrants, cette variation de la sensibilité de l'instrument ne disparaît pas. Même lorsque l'aiguille est très près de la partie supérieure des quadrants, l'effet persiste, et, bien que d'après l'explication de M. Hopkinson, la sensibilité de l'électromètre aurait dû être très grande par suite d'une forte charge de l'aiguille, on a trouvé au contraire qu'elle était très faible.

Après avoir pesé avec soin l'aiguille à laquelle était attaché le fil de platine et le poids plongeant dans l'acide, nous avons déterminé par le calcul la grandeur de l'effet qui résulterait du changement de la tension des fils dû à une attraction de l'aiguille par les quadrants. Ce calcul a montré, que pour la différence de potentiel de 3.000 volts entre l'aiguille et les quadrants, cette attraction était beaucoup trop faible pour rendre compte de la diminution de la sensibilité avec de fortes charges de l'aiguille.

M. Hopkinson dit dans son mémoire : « La tension des fils provenant de la traction électrique n'explique pas la totalité des faits, mais elle en constitue la part principale. » Les expériences que nous avons faites à la fin de 1886 et au commencement de 1887, confirmées par le calcul dont nous venons de parler, ont montré qu'au moins dans les électromètres que nous avons employés, la partie principale de cette action n'était pas causée par la tension augmentée des fils et qu'il faut chercher par suite une autre explication.

Des expériences longues et laborieuses ont été entreprises ensuite pour expliquer la cause de ces phénomènes curieux. Nous avions d'abord pensé qu'il pouvait être dû à une action capillaire entre le poids en platine et l'acide sulfurique, l'action variant avec le potentiel de l'acide ; les expériences ayant montré qu'on ne peut pas expliquer les phénomènes de cette façon, nous avons entrepris une longue série d'expériences pour déterminer les lois relatives à la variation de la sensibilité de l'électromètre à quadrant pour différents potentiels de l'aiguille, pour différentes distances entre les fils de la sus-

pension bifilaire et pour différentes distances entre les quadrants.

Afin de faciliter le démontage de l'instrument nous avons dû apporter quelques modifications dans le mode d'attache de l'aiguille et nous avons introduit une amélioration dans le replenisher.

La différence de potentiel entre l'aiguille et l'armature extérieure de l'électromètre était mesurée à l'aide d'un électromètre absolu Thomson, rendu très sensible en diminuant l'épaisseur des ressorts qui supporte le disque en aluminium.

Nous avons mesuré en 1888 de fortes différences de potentiel à l'aide de cet électromètre absolu et à l'aide d'un voltmètre électrostatique de sir W. Thomson permettant d'aller jusqu'à 20.000 volts. Les résultats de ces comparaisons ont conduit d'abord à modifier les constantes des voltmètres électrostatiques et en second lieu à une nouvelle détermination de la valeur de v. Sir W. Thomson avait calibré en effet ces voltmètres en mesure électromagnétique en partant de la valeur de l'équivalent électrochimique de l'argent comme il avait été déterminé par Lord Rayleigh, tandis que nous avons fait ce calibrage en comparant l'instrument avec l'électromètre absolu. La valeur de v ainsi obtenue était de 298 millions de mètres par seconde.

Nous avons trouvé que lorsque la distance entre les fils du bifilaire est grande, la sensibilité augmente plus rapidement que le potentiel de l'aiguille; lorsque cette distance est faible, la sensibilité augmente jusqu'à un certain point avec le potentiel de l'aiguille et diminue lorsque ce potentiel continue à augmenter. En faisant varier la distance entre les quadrants nous avons trouvé que lorsque cette distance est faible la sensibilité augmente d'abord lorsqu'on augmente le potentiel de l'aiguille; elle diminue ensuite et augmente finalement lorsqu'on continue à augmenter le potentiel de l'aiguille. La courbe se rapportant à la sensibilité avec différents potentiels de l'aiguille présente un point d'inflexion pour de faibles distances entre les quadrants.

Lorsque l'on augmente la distance entre les quadrants, la courbe de la sensibilité devient moins accentuée, et elle se ré-

duit à une ligne droite lorsque la distance qui sépare les quadrants est 3,9 millimètres. Lorsque la distance augmente encore, la sensibilité augmente plus rapidement que le potentiel de l'aiguille.

Les différentes courbes qui accompagnent le mémoire montrent que l'on peut régler cet électromètre à quadrant de telle façon que la variation de la sensibilité avec le potentiel de l'aiguille peut suivre trois lois distinctes. Si les quadrants sont très rapprochés, il y a certaines limites entre lesquelles le potentiel de l'aiguille peut varier sans produire plus qu'un faible changement dans la déviation qui correspond à une différence de potentiel fixe entre les quadrants; par exemple, lorsque les quadrants sont distants d'environ 2,5 millimètres et les fils rapprochés l'un de l'autre, au sommet de la suspension, la déviation produite par une différence de potentiel de 1,45 volts entre les quadrants ne varie que de 11 p. 100 lorsque le potentiel de l'aiguille varie de 900 à 3.500 volts. Lorsqu'on écarte les fils de la suspension au sommet et lorsque les quadrants sont distants d'un millimètre, la courbe relatant la déviation au potentiel de l'aiguille n'accuse que peu de variation.

Dans ce cas la déviation était pratiquement constante lorsque le potentiel variait entre 2.152 et 3.227 volts et même lorsqu'on augmentait de 1.434 à 3.407 volts le potentiel de l'aiguille, c'est-à-dire en augmentant le potentiel de près de 2.000 volts la déviation n'augmentait pas tout à fait de 9 p. 100. Cet arrangement ne donne qu'une faible sensibilité, mais lorsqu'une grande sensibilité n'est pas nécessaire on peut s'en servir avec avantage, puisqu'une diminution de potentiel de la bouteille de Leyde ou du potentiel de l'aiguille n'influe que légèrement sur la déviation due à la force électromotrice entre les deux quadrants.

Lorsque la distance des quadrants est d'environ 3,9 millimètres la déviation due à une force électromotrice donnée entre les quadrants est à peu près proportionnelle au potentiel de l'aiguille.

Cet arrangement serait à recommander pour l'emploi de l'électromètre avec des différences de potentiel alternatives. Finalement lorsque la distance des quadrants est supérieure à

4 millimètres, la déviation augmente plus rapidement que le potentiel de l'aiguille; la sensibilité maxima voisine de l'instabilité s'obtient par cet arrangement des quadrants.

Après avoir effectué un grand nombre d'expériences dans le but de déterminer à quelle cause il faut attribuer l'action irrégulière de notre modèle d'électromètre, nous sommes arrivés à nous en rendre compte. Le fil qui supporte l'aiguille en aluminium, ainsi que le fil qui relie l'aiguille à l'acide sulfurique de la bouteille de Leyde, est enfermé dans un tube faisant écran, et ayant pour but de garantir le fil contre les actions extérieures.

Ces tubes sont ouverts aux deux bouts; par conséquent lorsque l'aiguille est déviée de sa position d'équilibre, chaque moitié de l'aiguille est placée d'une manière asymétrique par rapport aux deux pièces métalliques qui relient les parties supérieures et inférieures du tube de garde. Par conséquent, bien que l'aiguille et le tube de garde soient maintenus toujours au même potentiel, il existe une répulsion entre les charges qui se trouvent sur les deux pièces du tube de garde et sur les deux moitiés de l'aiguille. Cette répulsion n'a pas seulement pour effet de diminuer d'une manière sérieuse la sensibilité de l'électromètre à quadrant du modèle de M. White; elle est encore la cause que la variation de sensibilité avec différents potentiels entre l'aiguille et l'armature extérieure de la bouteille de Leyde suit une loi beaucoup plus compliquée que celle donnée par les formules.

Afin de vérifier que les particularités constatées dans la loi de l'électromètre à quadrant sont dues aux actions électriques que le tube de garde exerce sur l'aiguille, nous avons augmenté le défaut de symétrie du tube de garde en y attachant une feuille mince d'aluminium en haut ou en bas de l'aiguille; des expériences faites à propos de la loi qui relie la sensibilité de l'électromètre au potentiel de l'aiguille ont montré qu'on peut modifier cette loi en déplaçant un peu la pièce ou la feuille d'aluminium.

Le mémoire décrit ensuite les expériences rattachant les mouvements du zéro électrique au potentiel de l'aiguille et à la position du quadrant mobile.

Guidé par les résultats d'une longue série d'expériences

faites avec l'électromètre de White, nous avons été conduits à construire, avec l'assistance de M. Mather, un électromètre à quadrant unifilaire qui est décrit dans le mémoire. Cet électromètre diffère en plusieurs points de celui construit par M. White; la suspension bifilaire est abandonnée pour des raisons indiquées dans le mémoire et on se sert d'une nouvelle forme de réglage magnétique; toutes les parties sont supportées à partir de la base, de façon qu'en enlevant l'enveloppe de verre qui sert de bouteille de Leyde, on peut régler l'instrument; toutes les parties isolantes sont en verre et sont couvertes pour les protéger de la poussière et de l'humidité; l'aiguille, les quadrants et les tubes de garde ont des formes telles que, quelle que soit la position symétrique des quadrants, la déviation produite par une différence de potentiel donnée entre les quadrants est directement proportionnelle au potentiel de l'aiguille; de plus cette forme améliorée de l'électromètre est au moins dix fois aussi sensible que le modèle ancien.

Le mémoire donne ensuite le compte rendu de plusieurs expériences faites avec l'électromètre dont l'aiguille avait été suspendue par un mince filament de quartz. Bien que l'instrument se trouve dans de bonnes conditions de sensibilité, le potentiel de 400 volts communiqué à l'aiguille était suffisant pour montrer que la sensibilité n'était pas proportionnelle au potentiel de l'aiguille.

Les expériences précédentes nous avaient conduits à chercher la cause de l'irrégularité de fonctionnement dans le tube de garde; pour vérifier si cette manière de voir était exacte, nous avons adapté à l'instrument un collier pourvu de deux tiges; ce collier pouvait être attaché à la partie supérieure du tube de garde, les deux tiges étant dirigées vers le bas de chaque côté de l'aiguille; nous avons pu constater que lorsque ce collier était attaché au tube de garde, l'instrument, bien que n'étant pas bifilaire, n'était pas meilleur que le modèle primitif.

En effet, la sensibilité augmentait proportionnellement au potentiel de l'aiguille avant que l'on eût attaché le collier, et, lorsque le collier était mis en place, la sensibilité augmentait d'abord et elle diminuait ensuite lorsque le potentiel de l'ai-

guille augmentait; l'aiguille étant chargée à un potentiel de 1.300 volts, il suffisait d'attacher ce petit collier pour réduire la sensibilité au quart.

Le mémoire se termine par un résumé des calculs effectués, ces calculs rendent compte de la diminution de la sensibilité dans certaines circonstances.

Les résultats de ces recherches peuvent être résumés comme il suit :

1° L'électromètre à quadrant construit par M. White, bien qu'ajusté avec soin pour assurer la symétrie, ne suit pas même d'une manière approximative la loi ordinaire de l'électromètre à quadrant lorsqu'on change le potentiel de l'aiguille;

2° Les particularités observées sur l'électromètre de White sont dues principalement à l'action électrique entre le tube de garde et à une légère inclinaison de l'aiguille qui a lieu à des potentiels élevés;

3° En arrangeant convenablement les quadrants de cet électromètre on peut rendre la sensibilité presque indépendante du potentiel de l'aiguille, ou bien on peut rendre cette sensibilité directement proportionnelle au potentiel, ou encore on peut la faire augmenter plus rapidement que le potentiel de l'aiguille;

4° En modifiant la construction de cet instrument on peut obtenir pour résultat que l'instrument suive la loi ordinaire de l'électromètre à quadrants, et cela sans aucun réglage spécial des quadrants en dehors de la question de symétrie; on peut en même temps rendre l'instrument beaucoup plus sensible que l'électromètre de White que nous avons employé dans nos expériences.

(*Lumière électrique*, juin 1891.)

Propriétés diélectriques du mica à haute température.

Par M. E. Bouty.

J'ai étudié les propriétés diélectriques du mica depuis la température ordinaire jusqu'à 400 degrés. En faisant usage de lames de mica argentées, on ne rencontre pas de difficultés

graves jusqu'au voisinage de 300 degrés, mais au delà l'argent est attaqué au contact de l'air, et le mica se trouve bientôt recouvert d'une couche transparente de nature électrolitique. On atténue cet inconvénient, sans le supprimer, en protégeant l'argent du contact de l'air par un dépôt de cuivre suffisamment épais.

Le principal résultat de ces recherches a été de mettre en évidence l'invariabilité presque complète de la constante diélectrique rapportée à une durée infiniment courte.

De 0 à 300 degrés cette constante ne varie certainement pas de la 1/50 partie de sa valeur; et comme dans tout cet intervalle de température le résidu électrique n'est pas extrêmement grand, on peut se montrer nettement affirmatif à cet égard.

Au delà de 300 degrés les complications apparaissent. La quantité d'électricité fournie au condensateur, par la pile de charge, cesse d'être exclusivement employée à la formation d'un résidu récupérable, comme cela avait lieu à la température ordinaire. L'excès du courant de charge sur le résidu est lié à l'existence d'une conductibilité superficielle du mica probablement attribuable elle-même au produit de l'attaque des armatures, car, à température fixe, cette conductibilité croît rapidement avec le temps, c'est-à-dire avec l'altération visible de l'argenture. Si après une chauffe prolongée, on laisse refroidir le condensateur, la couche superficielle du mica, devenue hygrométrique, conserve à froid une conductibilité qu'on fait disparaître en lavant les bords à l'alcool, et l'on constate alors que le mica a repris ses propriétés normales : sa constitution interne n'a donc pas été altérée d'une manière permanente par la chauffe.

Il se peut que de 300 à 400 degrés le mica possède déjà une faible conductibilité superficielle que j'ai mise en évidence. Mes expériences ne permettent de rien affirmer à cet égard.

Quoi qu'il en soit, la conductibilité résultante, de 300 à 400 degrés, est assez faible pour que son effet, proportionnel au temps, puisse être négligé dans les expériences à très courte durée. A l'aide du pendule de torsion qui m'a précédemment servi (*) je produis des fermetures du circuit variant

(*) *Comptes rendus*, CX, p. 1362.

de $0^s,001$ à $0^s,05$ et je trouve que, dans cet intervalle restreint, la charge absorbée C est représentée en fonction du temps t par la formule

$$C = A + Bt^\alpha.$$

Le coefficient B caractéristique du résidu croît rapidement avec la température ; mais A conserve une valeur à peu près fixe et se confond, au degré d'approximation des mesures, avec la charge normale à courte durée et aux basses températures.

La constante diélectrique est donc un élément d'une extrême fixité : ses variations avec la température paraissent de même ordre que celles de la densité ou de l'indice de réfraction.

(*Comptes rendus*, juin 1891.)

Poste central téléphonique à Bruxelles.

Le service télégraphique, complété d'un service complet de téléphonie, sera installé dans ses nouveaux locaux de la place de la Monnaie, à Bruxelles, presque en même temps que le service postal.

Le bureau technique des télégraphes s'occupe activement de l'organisation du service nouveau. L'espace qu'occupera le télégraphe sera très vaste; son emplacement est situé dans l'aile gauche de l'immeuble, c'est-à-dire tout le côté donnant sur la rue Fossé-aux-Loups.

Au rez-de-chaussée, d'abord une salle largement installée pour le public. A droite, en entrant, de nombreux guichets pour la remise des télégrammes. A côté, la salle des cabines téléphoniques publiques. Des appareils spéciaux serviront aux communications à longue distance.

Derrière l'emplacement réservé aux employés guichetiers, la salle de distribution. Un personnel de cent cinquante porteurs de dépêches sera chargé de la distribution des télégrammes. A côté, une place réservée aux employés qui auront pour mission de recevoir téléphoniquement le texte des dépêches que les abonnés voudraient lancer, ou de leur transmettre celui des télégrammes arrivés à leur adresse.

Cela simplifiera le service et fera gagner du temps aux abonnés du téléphone, désireux d'être servis ainsi. De cette manière ils connaîtront la teneur de leurs télégrammes en quelques secondes, alors qu'il faut parfois une demi-heure pour les porter à domicile.

Cette réforme heureuse ne manquera pas d'être bien vue du public. D'ailleurs, il faut reconnaître que l'administration du télégraphe n'a jamais hésité d'entrer dans la voie du progrès quand l'occasion s'en est présentée. Rappelons en passant que c'est la Belgique qui a eu l'honneur d'inaugurer la première ligne télégraphique du continent. De même, ce sont deux ingénieurs belges, MM. Mourlon et Van Rysselberghe, qui ont les premiers pris l'initiative d'un projet de téléphonie internationale permettant de relier la Bourse de Bruxelles avec celles d'Anvers, Amsterdam et Paris, au moyen de lignes spéciales en bronze.

Une partie de ce projet a été mise en exécution, grâce à l'initiative prise par l'administration belge des télégraphes pour l'établissement de communications téléphoniques entre Bruxelles et Paris.

Au deuxième étage de l'aile gauche du nouvel Hôtel des postes seront installées spacieusement les salles des manipulations, des appareils, du classement et des conférences.

Pour l'installation des appareils, l'administration a tenu compte des progrès et des procédés les plus récents. C'est ainsi que depuis six mois des essais se font avec les appareils américains Sounder, ou « parleurs » pour la reproduction des signaux Morse.

On sait qu'actuellement ces mêmes signaux sont reproduits par leur impression sur les bandes de papier se déroulant de l'appareil récepteur. Ces signaux se composent de deux uniques sons ou signes conventionnels : un point ou une barre. Combinés d'innombrables manières, ils forment l'alphabet du télégraphiste.

Le système Sounder rend d'incomparables services depuis quarante ans aux États-Unis et depuis une vingtaine d'années en Angleterre. A Londres notamment, plus de trois mille employés s'en servent avec une rare habileté.

Durant les six mois d'essai au télégraphe de Bruxelles (Nord),

l'appareil parleur a donné des résultats si concluants que l'administration a décidé de supprimer dans un temps plus ou moins rapproché la plus grande partie des appareils Hughes et Morse par le Sounder. Ce dernier a des avantages immenses sur les deux autres ; il simplifie le travail, fait gagner du temps et fatigue beaucoup moins la vue du télégraphiste. Celui-ci ne reçoit plus les dépêches sur des bandes imprimées, mais les perçoit à l'ouïe. De plus, il ne fatigue pas l'esprit par la nécessité d'une attention soutenue ; seulement il faut une grande pratique avant de s'en servir.

L'installation nouvelle nécessitera l'établissement de fils nouveaux pour relier les lignes télégraphiques du Nord et du Midi au bureau.

Le nombre des appareils qui seront placés au nouveau bureau central sera de cent soixante environ : trente-deux appareils Hughes, une centaine d'appareils Morse et le reste des Sounder.

Le nombre de télégraphistes sera de deux cent soixante-dix environ.

La salle des manipulations sera reliée à celle de la distribution par un tube pneumatique.

L'introduction des fils des différentes lignes dans le bureau télégraphique central se fera par une vaste cheminée qui a été ménagée dans l'intervalle compris entre deux murailles. De là les fils se dirigeront vers une armoire vitrée et y seront répartis suivant leur direction. C'est ce qu'on peut appeler le cœur du bureau télégraphique, d'où partent les artères et les veines.

De plus, avant d'arriver aux appareils, ces fils passent par deux grands commutateurs formés de lames métalliques isolées que l'opérateur peut mettre en communication au moyen de bouchons.

Cet organe de la télégraphie, qui a la forme d'un échiquier percé de centaines de trous, se rencontre, en sa construction primitive, dans tous les bureaux télégraphiques ; mais il va de soi qu'eu égard à l'importance du bureau central on lui a fait subir les transformations les plus nouvelles, surtout à cause du grand nombre de fils qui y aboutissent.

Au point de vue des correspondances de bourse, d'intéres-

sants progrès seront réalisés. Parfois les opérations financières subissent en quelques minutes des fluctuations d'importance capitale. A l'avenir, les télégrammes reçus au bureau central, au lieu d'être transmis, comme cela se fait actuellement encore, à la Bourse par les appareils télégraphiques, y seront envoyés au moyen d'un tube pneumatique souterrain, qui reliera la Bourse au Bureau central télégraphique.

Lorsque le personnel du bureau central télégraphique actuel aura abandonné les locaux dont il dispose à la gare du Nord, ceux-ci subiront de notables transformations. Les salles d'attente, la salle des bagages et d'autres emplacements occupés par divers services seront considérablement agrandis.

Le nouvel Hôtel des postes sera entièrement éclairé à la lumière électrique.

Disons, en terminant, à l'honneur de l'industrie belge, qu'elle ne sera plus tributaire des industriels américains : à l'avenir toutes les pièces télégraphiques seront construites en Belgique. L'ouvrier belge a acquis dans ces dernières années un tel degré d'habileté et de raffinement dans la construction d'appareils électriques que ses travaux font l'admiration des peuples voisins.

(*Lumière électrique*, 5 septembre 1891).

Nouveau câble anglo-allemand.

La pose du télégraphe anglo-allemand a été exécutée par le bateau à vapeur *Faraday*, appartenant à l'établissement de la maison Siemens, à Carlton, près de Woolwich, où le câble, qui a une longueur de 450 kilomètres a été construit.

Le lundi 10 août le *Faraday* s'est rendu en rade de Bacton petite station balnéaire de Norfolk. Le bout de terre a ét amarré à une cabane télégraphique à l'aide d'un radeau, et à quatre heures du soir le bateau câblier mettait le cap sur l'embouchure de l'Ems, déroulant son câble avec une vitesse de 6 nœuds à l'heure.

Le matin du 12, le *Faraday* arrivait en vue de l'île sablonneuse de Borkum et travaillait à joindre le bout du bord avec



celui de terre, amarré à une bouée ancrée à 10 milles au large. La dernière épissure était faite à trois heures du soir. La fin de l'opération a été saluée par des salves d'artillerie et les *hurrahs* des baigneurs.

Ce câble a coûté 2.375.000 francs.

(*Lumière électrique*, 12 septembre).

Nécrologie.

Notice sur Wilhelm Weber ; par M. Mascart.

Wilhelm-Eduard Weber, qui vient de s'éteindre à Göttingen le 23 juin dernier, à l'âge de 87 ans, était correspondant de l'Académie des Sciences, dans la section de physique, depuis l'année 1865.

Né à Wittenberg, le 24 octobre 1804, Weber fut nommé professeur de physique à l'Université de Göttingen en 1831, dans une chaire occupée autrefois par Lichtenberg. Il dut quitter ces fonctions en 1837, dans des circonstances où la droiture un peu rigide de son caractère n'avait pu se plier à certaines concessions politiques ; il devint alors professeur libre et occupa ensuite la chaire de Leipzig, mais fut rappelé, en 1849, à l'Université de Göttingen, où il resta jusqu'à la fin de sa carrière.

Il n'avait pas quitté les bancs de l'Université de Halle, quand il fit paraître, en 1826, en collaboration avec son frère aîné, Ernest-Heinrich Weber, physiologiste distingué, une étude expérimentale, restée classique, sur la production et la propagation des ondes de différentes natures.

Weber a publié un grand nombre de travaux relatifs à l'élasticité, l'acoustique et la lumière, mais c'est surtout dans les recherches d'électricité qu'il devait s'illustrer. La réputation précoce de son enseignement à Halle, en qualité de privat-docent, appela d'abord sur lui l'attention de Humboldt. Dès son arrivée à Göttingen, il se lia étroitement avec Gauss,

qui dirigeait l'Observatoire astronomique, et cette association de deux savants, d'âges et d'aptitudes bien différents, fut des plus fécondes.

A côté de ses travaux d'analyse et de mécanique céleste, Gauss avait porté son attention sur la théorie mathématique de l'électricité et du magnétisme, qui présente tant d'analogies avec celle de l'attraction universelle. Dans le mémoire intitulé : *Intensitas vis magneticæ terrestris ad mensuram absolutam revocata*, Gauss donnait une méthode expérimentale supérieure à celle de Coulomb pour vérifier la loi des actions magnétiques, ainsi qu'une théorie générale de l'aimantation du globe et des relations qui doivent exister entre les données de différentes stations ; perfectionnant, de même, une idée émise par Poisson, il indiquait la méthode que l'on utilise encore aujourd'hui pour connaître les composantes du champ terrestre en valeurs absolues, rapportées aux unités mécaniques de longueur, de masse et de temps.

Il institua un observatoire magnétique d'après ces nouveaux principes et organisa, avec la collaboration de Weber, une association étendue, comprenant les directeurs des principaux observatoires, surtout en Allemagne, pour soumettre à une étude systématique et suivant un plan commun les variations continues du magnétisme terrestre. Les résultats de cette vaste entreprise ont été publiés par Weber pendant plusieurs années et résumés dans un atlas magnétique du globe.

C'est en souvenir de cette initiative que l'on conserve encore le méridien de Göttingen, comme point de départ, dans un grand nombre d'études générales sur la distribution du magnétisme terrestre.

Ce travail commun fut, pour les deux collaborateurs, l'occasion d'installer, en 1834, le premier télégraphe électrique et marque une date importante dans l'histoire de la télégraphie.

Des lignes de 3 ou 4 kilomètres reliaient l'habitation de Weber, située dans la ville, et les observatoires astronomique et magnétique. Les signaux étaient obtenus par les déviations à droite et à gauche de l'aiguille d'un galvanomètre et interprétés suivant un alphabet conventionnel. L'emploi des courants interrompus ou renversés ne permettait guère de trans-

mettre plus d'un ou deux mots par minute ; la vitesse d'expédition fut portée à 6 ou 7 mots par les courants induits.

L'idée des mesures en unités mécaniques était naturellement applicable aux actions qui s'exercent, soit entre les conducteurs parcourus par des courants électriques, soit entre les courants et les aimants, actions dont les lois avaient été établies par Ampère pour les effets permanents, et par Faraday pour les effets transitoires qui produisent les courants d'induction. Weber devait y trouver une voie nouvelle et une gloire personnelle. La série des mémoires qu'il a publiés de 1846 à 1871, sous le titre de *Electrodynamische Maasbestimmungen*, constituent un monument scientifique impérissable, où l'étendue des descriptions peut quelquefois paraître longue au lecteur actuel, trop pressé d'aboutir, mais dont l'étude attentive est toujours fructueuse. Il est impossible d'apprécier cette œuvre avec équité par une courte analyse : nous en indiquerons seulement quelques traits saillants.

L'invention de l'électrodynamomètre, qui repose sur l'action réciproque des courants, permit à Weber de soumettre la loi d'Ampère à un contrôle rigoureux par une méthode ne différant de celle de Gauss que par la substitution des bobines aux aimants.

L'étude très approfondie des déviations produites dans les appareils galvanométriques par les courants permanents ou temporaires lui fournit le moyen de préciser les méthodes d'observation, de mesurer les quantités d'électricité correspondant aux décharges par l'impulsion qu'elles impriment à une aiguille aimantée, et d'évaluer la durée approximative de ces décharges par la combinaison du galvanomètre et de l'électrodynamomètre.

Au cours de ses recherches expérimentales, Weber a fait connaître une formule importante qui comprend dans une même expression les lois de Coulomb relatives à l'électrostatique, les lois d'Ampère sur l'action réciproque des courants et les phénomènes d'induction découverts par Faraday. Gauss ne paraît pas avoir été étranger au choix de cette formule, et les conceptions théoriques qui lui servent de base peuvent prêter à discussion ; mais Weber conserve le mérite d'en avoir montré toutes les conséquences, en établissant pour la

première fois un lien étroit entre des phénomènes qui paraissaient indépendants.

Les travaux de Weber se distinguent surtout par l'introduction des mesures absolues qui ont tant contribué, depuis quelques années, aux progrès si rapides de l'électricité dans la science pure et dans ses applications industrielles. C'est à lui, en effet, que l'on doit la suppression d'une terminologie vague dans laquelle on estimait les courants par la nature des piles et le nombre des couples, la longueur et les dimensions des circuits, par la déviation produite dans un galvanomètre dont on indiquait seulement le nombre des tours de fil.

Les services inappréciables que rend l'emploi des mesures absolues justifiaient l'attribution du nom de *weber*, particulièrement en Allemagne, à l'unité du courant définie par son action électromagnétique, en adoptant les unités mécaniques de Gauss, c'est-à-dire le millimètre, la masse du milligramme et la seconde de temps moyen. Le Comité de l'Association Britannique, chargé de constituer un système méthodique de mesures, conserva la même dénomination, mais en choisissant comme unités fondamentales le centimètre et la masse du gramme. Il en résultait une confusion regrettable, et le Congrès international de Paris, qui a consacré, en 1881, l'adoption universelle du système proposé par l'Association Britannique, a désigné par le nom d'*ampère* la nouvelle unité de courant.

On sait aussi qu'il existe deux systèmes principaux de mesures absolues, avec les mêmes unités mécaniques, pour l'électricité et le magnétisme, suivant que l'on prend, comme point de départ, les lois des actions électrostatiques ou la loi élémentaire de l'action réciproque des aimants. Les deux systèmes sont incompatibles en ce sens que le même langage s'applique à des quantités qui sont de natures différentes par leurs définitions. Les valeurs numériques, évaluées dans les deux systèmes, de certaines grandeurs, telles que les quantités d'électricité ou de magnétisme, les courants ou les forces électromotrices, ainsi que les racines carrées de ces valeurs, pour les résistances et les capacités, sont dans un rapport constant, de la nature d'une vitesse, et indépendant du choix des phénomènes.

Ce rapport intervient déjà dans la formule de Weber, où l'action de deux masses électriques dépend de leur vitesse relative; c'est une grandeur physique parfaitement définie, abordable à l'expérience, que l'on fut d'abord très étonné de trouver sensiblement égale à la vitesse de propagation de la lumière dans le vide, et qui prit une importance exceptionnelle par l'admirable Mémoire de Clerk Maxwell sur la théorie électromagnétique de la lumière.

C'est encore à Weber, en collaboration avec R. Kohlrausch, que l'on doit la première détermination expérimentale de ce rapport, par la mesure électrostatique et électromagnétique de la quantité d'électricité qui correspond à la décharge d'une batterie. La valeur de 310.700 kilomètres par seconde, obtenue dans cette expérience, ne diffère que de 1/30 des nombres plus exacts qui résultent des déterminations ultérieures, lesquels se confondent, au degré d'approximation des mesures, avec la vitesse de la lumière.

Weber a déterminé aussi les actions chimiques par électrolyse qui correspondent au passage de l'unité de courant pendant une seconde et fourni par là le moyen pratique de reconstituer cette unité dans les expériences. Enfin, il a indiqué et mis en pratique quelques-unes des méthodes les plus précises pour déterminer la valeur numérique, rapportée aux unités fondamentales, de la résistance électrique d'un conducteur. Son nom se trouve ainsi associé aux nombreux travaux effectués, depuis quelques années, pour évaluer l'unité pratique de résistance, ou l'*ohm*, en colonne mercurielle.

Wilhelm Weber était le dernier représentant de cette génération de savants qui a jeté tant d'éclat sur la première moitié du siècle ; c'est une grande figure qui disparaît. L'Académie des Sciences tiendra à conserver dans ses *Comptes rendus* au moins la faible expression d'un hommage rendu à sa mémoire.

(*Comptes rendus*, 20 juillet 1891.)

Gérant : Vᵉ Dunod. — Paris. — Imp. C. Marpon et E. Flammarion, rue Racine, 26.

ANNALES
TÉLÉGRAPHIQUES

Année 1891 Novembre-Décembre

ÉTUDE

DES PROPRIÉTÉS DIÉLECTRIQUES DU MICA

On admet, depuis Faraday, que, si l'on remplace la lame d'air d'un condensateur plan par une lame isolante (diélectrique) solide ou liquide, la charge du condensateur se trouve multipliée par un coefficient spécifique $k > 1$, que l'on nomme *pouvoir inducteur spécifique*, ou *constante diélectrique* et qui, d'après Maxwell, devrait être égal au carré de l'indice de réfraction.

Gaugain (*) ayant établi que la charge d'un condensateur à lame diélectrique est, en général, fonction du temps, on a attribué la variation de charge à des causes perturbatrices plus ou moins bien définies (conductibilité, pénétration de l'électricité), et les expérimentateurs ont désormais cherché à s'en affranchir par l'usage de fréquentes inversions de la différence de potentiel. Le plus souvent on s'est servi d'une bobine de

(*) Voir *Annales télégraphiques*, 2e série, t. VI, 1863, p. 461.

Ruhmkorff, à interrupteur rapide; plus récemment on a eu recours aux oscillations électriques de Hertz.

Ces méthodes, fort ingénieuses, ont tantôt infirmé, tantôt vérifié, d'une manière plus ou moins grossière, la relation proposée par Maxwell. On peut leur reprocher d'être indirectes et de faire usage d'appareils ou de phénomènes dont la théorie est loin d'être complète. C'est pourquoi j'ai cru devoir reprendre à fond l'étude expérimentale des diélectriques par des méthodes nouvelles que j'ai cherché à mettre à l'abri de toute objection.

J'ai borné provisoirement mes recherches au mica muscovite, employé à la construction des étalons de capacité. A ma connaissance, cette monographie a été tentée deux fois, d'une manière d'ailleurs assez incomplète; d'abord par M. F. Kägi (*), puis par M. J. Klemencic (**), dont les conclusions, que je n'ai connues qu'après avoir terminé ces recherches, se rapprochent beaucoup plus des miennes et seront signalées en temps utile.

Dans un premier mémoire (***), j'ai établi qu'un condensateur en mica bien construit ne livre passage, à la température ordinaire, à aucun courant permanent d'intensité appréciable aux procédés les plus délicats. Il en résulte qu'il n'y a ici ni conductibilité ni pénétration des charges (****).

(*) F. Kägi, *Untersuchungen über das Verhalten des Glimmers als Condensatormedium* (Inaugural Dissertation. Zurich, 1882).

(**) I. Klemencic, *Ueber das Glimmer als Dielectricum* (*Sitzungsberitchte der Kais. Akad. der Wissensch.*, t. XCVI, 2te Abth ; 1887).

(***) *Comptes rendus de l'Académie des sciences*, t. CX, p. 846; *Journal de physique*, 2e sér., t. IX, p. 288.

(****) D'après M. Klemencic, la résistance spécifique du mica serait au moins égale à 6.10^{21} fois celle du mercure, tandis que, d'après mes propres expériences (*loc. cit.*), cette résistance ne peut être inférieure à $4,2.10^{23}$ fois celle du mercure.

Le mémoire actuel se divise en deux parties :

Dans la première, j'ai étudié les courants de charge et de décharge de condensateurs étalons commerciaux de grande capacité ;

Dans la seconde, j'ai opéré sur des lames de mica que j'ai armées moi-même. J'ai prouvé l'existence d'une constante diélectrique bien déterminée et à peu près invariable avec la température dans des limites où les résidus deviennent plusieurs centaines de fois plus forts. Cette constante se trouve plus de trois fois supérieure au carré de l'indice.

Comme corollaire de cette étude, j'ai indiqué de nouvelles règles de construction pour les condensateurs étalons.

CHAPITRE I.

ÉTUDE DES CONDENSATEURS ÉTALONS.

1. Pour étudier le résidu d'un condensateur, il est indispensable de se placer dans des conditions d'une extrême simplicité. Je supposerai :

1° Qu'un condensateur dont les deux armatures étaient en communication depuis un temps illimité est placé, à un moment donné, dans le circuit d'une pile impolarisable et que la résistance totale de la pile et du circuit métallique est négligeable ;

2° Qu'un condensateur chargé, pendant un temps illimité, par une pile constante, est fermé sur lui-même, à un moment donné, par un circuit métallique de résistance négligeable.

Je me propose de déterminer, dans les deux cas, la variation de la charge du condensateur à une époque

arbitrairement choisie. Si, comme je l'ai établi, la lame diélectrique ne livre passage à aucun courant, toute l'électricité reçue par le condensateur pendant la charge, *quelque longue que puisse être la durée de celle-ci*, doit être restituée pendant la décharge, si le circuit du condensateur est fermé pendant un temps suffisant. Dans les deux cas que j'ai étudiés, le *résidu total* doit avoir la même valeur.

2. Les méthodes que j'ai employées reviennent à mesurer de très petites charges emmagasinées dans un condensateur de grande capacité. Je me suis servi, pour cela, de l'électromètre capillaire de M. Lippmann. Après avoir bien mouillé le tube de l'électromètre dans toute l'étendue du champ de vision par l'oscillation de la colonne mercurielle, on décharge le condensateur sur l'électromètre et on observe sur l'échelle du micromètre la position finale du mercure. On vérifie sans peine que, dans les limites du champ de vision, le déplacement n du mercure est exactement proportionnel à la différence de potentiel initiale δy à laquelle se trouve chargé le condensateur, et l'on détermine le coefficient de proportionnalité (*), que l'on trouve invariable d'un jour à l'autre. Dans mes expériences, δy était toujours inférieur à $0^{da},015$; la précision des mesures, constante dans tout l'intervalle où j'ai opéré, peut être évaluée à $\frac{1}{50}$.

3. *Étude de la charge d'un condensateur.* — Soit A le condensateur étudié. La méthode comporte l'emploi d'un condensateur B auxiliaire, que l'on doit choisir le plus parfait possible au point de vue de l'isolement.

(*) En évaluant δy en daniells, on avait $\delta y = 0,000267 n$ à la température moyenne du laboratoire (15°). Le coefficient de n (et par conséquent la capacité de l'électromètre) croît avec la température.

Les condensateurs A et B sont disposés en cascade sur le circuit d'une pile impolarisable de force électromotrice E; je suppose d'abord le circuit ouvert en I; les deux armatures de B sont réunies par une dérivation m sans résistance (*fig.* 1). L'expérience se divise en trois phases :

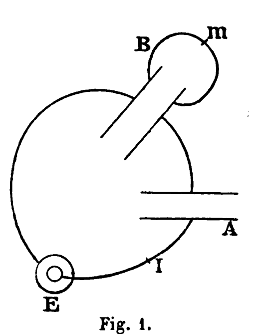


Fig. 1.

1° Au temps θ on ferme le circuit en I et le condensateur A se charge directement; les deux armatures de B demeurent au même potentiel.

2° Au temps θ la dérivation m est supprimée et, pendant un temps t, A ne peut plus recevoir de charge supplémentaire que par l'intermédiaire de B. Soit C la capacité de A *considérée comme une fonction du temps*, X la différence de potentiel variable de ses armatures, y la différence de potentiel des armatures de B. Nous supposons toujours y assez petit pour qu'on puisse faire abstraction des fuites d'électricité dont B pourrait être le siège, et aussi du résidu formé sur B. *Nous considérons donc la capacité de* B *comme invariable* et nous la prenons égale à 1. Dans ces conditions, on doit avoir à chaque instant

$$X + y = E, \tag{1}$$
$$d(CX) = dy, \tag{2}$$

d'où l'on tire

$$\delta C = \frac{C + 1}{E - y} \delta y. \tag{3}$$

D'ailleurs, au degré d'approximation que comportent les mesures, et eu égard à la petitesse de y, on peut

se borner à écrire

$$\delta C = \frac{C + 1}{E} \delta y. \qquad (3 \textit{ bis})$$

et étendre cette formule à la durée entière t de cette seconde partie de l'expérience.

3° Au temps $\theta + t$ le circuit de la pile est de nouveau interrompu en I et l'on décharge B sur l'électromètre. On lit le déplacement n du mercure, on en conclut δy à l'aide du coefficient de proportionnalité ci-dessus déterminé et, par suite, δC ou, enfin, l'accroissement normal $E\delta C$ qu'aurait pris dans l'intervalle t la charge du condensateur A supposé seul dans le circuit de la pile E.

4. *Étude de la décharge.* — Le condensateur A est d'abord chargé pendant un temps très long; le condensateur B demeure fermé sur lui-même en m (*fig.* 2). On interrompt le courant en I, et aussitôt, à un instant que nous prendrons pour origine, on ferme le circuit des condensateurs en b.

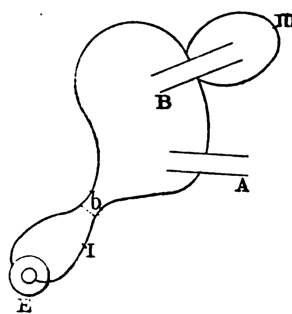


Fig. 2.

1° Pendant un temps θ, le condensateur A se décharge librement; les deux armatures de B demeurent au même potentiel.

2° Au bout du temps θ, la dérivation m est supprimée et le résidu rendu libre sur A se partage désormais entre les condensateurs A et B, proportionnellement à leurs capacités C et 1.

3° Au temps $t + \theta$, on sépare les deux condensateurs en b, et on décharge B sur l'électromètre. On lit le dé-

placement n du mercure, on en conclut la différence de potentiel $\delta y'$ à laquelle se trouvait chargé B, ou sa charge $\delta y'$. On en déduit la charge totale $(1 + C)\,\delta y'$ rendue libre sur A entre θ et $\theta + t$. Il y a lieu de remarquer que, dans cette expérience, le condensateur B se trouve chargé non plus dans le même sens que A, comme dans les expériences du paragraphe précédent, mais en sens inverse (*).

5. *Pendule de torsion.* — Les durées t et θ que j'ai employées pour les expériences de charge ont varié de 0″,001 à 4.000″. Au-dessus de 5″ et parfois même de 2″, les interruptions et commutations nécessaires étaient effectuées à la main; mais, pour les petites durées, on a eu recours à un pendule de torsion qui les réalisait automatiquement à l'aide de contacts à mercure.

Ce pendule (*fig.* 3) construit à mon laboratoire par M. Conche, chef d'atelier, a pour organe essentiel une tige d'acier *ss* de $1^m,20$ de long et de 5 millimètres de diamètre dont la torsion engendre les oscillations à utiliser. Cette tige est encastrée et soudée, par ses deux bouts, à la partie supérieure dans une pièce métallique O, portée par un fort bâti en chêne; à la partie inférieure dans une pièce semblable supportant un lourd cylindre de cuivre C, lesté de plomb. Le cylindre C présente in-

(*) On peut aussi supprimer le condensateur auxiliaire B; après avoir chargé A pendant un temps très long, on le ferme pendant le temps θ, on l'abandonne à lui-même pendant le temps t, enfin on le décharge sur l'électromètre. Si le condensateur A a pour capacité 1, les résultats obtenus sont directement comparables à ceux du paragraphe précédent; sinon il faut déterminer un nouveau coefficient de proportionnalité que l'on obtient d'ailleurs sans peine.

L'inconvénient de ce procédé simplifié, c'est que, le résidu continuant à se former sur B pendant l'observation de l'électromètre, la mesure n'aura de sens précis que pour des durées notablement supérieures à celle de cette observation qui exige 5 à 10 secondes.

férieurement et suivant son axe, une petite cavité cylindrique dans laquelle s'engage une courte tige, de même diamètre, fixée au bâti de chêne de l'appareil; l'axe d'oscillation du pendule est ainsi rendu parfaitement rigide.

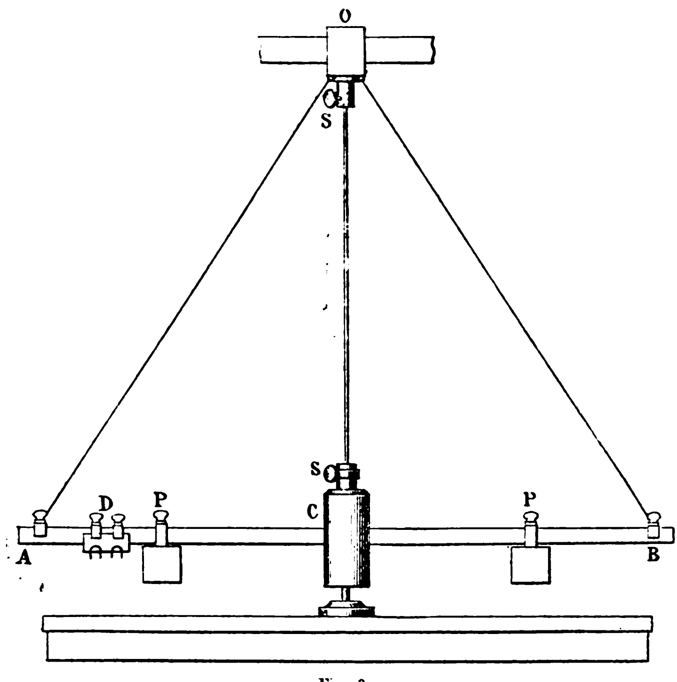


Fig. 3.

La pièce oscillante du pendule est une forte règle de fer AB traversant le cylindre C, dans lequel elle est encastrée et soudée; cette règle est posée de champ; deux fils de fer, modérément tendus, s'attachent, d'une part, aux extrémités de la règle, d'autre part, à un anneau embrassant la pince supérieure; ils ont pour office d'assurer la planéité de l'oscillation.

Des couples de poids de plomb égaux P peuvent être

fixés par des vis de pression sur la règle AB à des distances égales de l'axe et permettent de faire varier à volonté le moment d'inertie et, par suite, la durée de l'oscillation du pendule.

Les communications électriques sont établies par de gros fils de platine recourbés en ∩ parallèlement au plan de la règle AB et terminés en pointe à leurs extrémités. Chacun de ces fils est noyé, à sa partie supérieure, dans une lame de paraffine fixée par pression sur une lame d'ébonite qu'on déplace à volonté le long de la règle et que l'on voit en D. Il est indispensable que les pointes de platine soient parfaitement propres; il est nécessaire de les laver à l'alcool et de les frotter assez fréquemment au papier d'émeri fin.

Pour régler la durée des contacts, je me suis servi de couples de petites nacelles de porcelaine pouvant glisser l'une par rapport à l'autre dans la direction de leur axe commun (perpendiculaire à la position d'équilibre de la règle AB) et gouvernées par une vis micrométrique. Une seule glissière à vis permettait de manœuvrer deux couples de nacelles et d'établir tous les contacts nécessaires à mes expériences (*).

L'appareil, pris dans son ensemble, fonctionne régulièrement et se prêterait à la réalisation des diagrammes de commutation les plus compliqués; l'expérimentateur a devant lui tous les fils de communication disposés sur une table horizontale, ce qui est particulièrement commode, soit pour en vérifier l'état, soit pour en changer rapidement la disposition au cours des expériences. Le seul inconvénient (inhérent d'ailleurs à l'emploi des

(*) L'appareil peut être complété par des coupe-circuits constitués par une tige d'ébonite fixée à la règle AB et qui culbute en passant des fils de communication convenablement disposés; on se dispense ainsi d'arrêter le pendule après sa première oscillation.

contacts à mercure), c'est que les pointes de platine, sillonnant le mercure des coupelles, développent en avant d'elles un bourrelet qui prolonge le contact un peu au delà de sa durée normale. On évalue empiriquement cette prolongation, qui peut atteindre jusqu'à trois millièmes de seconde, et on en tient compte; finalement les durées peuvent être considérées comme connues à moins de un demi-millième de seconde près.

6. *Condensateurs.* — L'étude préliminaire des courants de charge (*) m'ayant montré la supériorité d'un microfarad en mica contruit par M. Carpentier (n° 2985-10) j'ai choisi ce condensateur comme type; c'est à ce microfarad et à ses subdivisions 0,1 ; 0,2 ; 0,2 ; 0,5 que se rapportent la plupart de mes mesures. J'ai étudié plus sommairement un microfarad en mica de L. Clark Muirhead (n° 823) et ses subdivisions 0,1 ; 0,2 ; 0,3 ; 0,4. Bien que ce condensateur soit nettement inférieur au microfarad Carpentier, son isolement est encore assez parfait pour que j'aie pu l'employer comme condensateur auxiliaire dans l'étude du premier.

7. *Comparaison des courants de charge et de décharge.*

Première loi. — *La charge absorbée entre* θ *et* $\theta + t$ *par un condensateur qui ne fuit pas et qui s'est longuement reposé* (**) *est identique au résidu rendu libre entre* θ *et* $\theta + t$ *sur le même condensateur, précédemment chargé pendant un temps indéfini et par la même pile.*

(*) *Journal de physique*, 2ᵉ sér., t. IX, p. 288.

(**) L'expérience a établi qu'au degré d'approximation des mesures, le repos nécessaire à un condensateur entre deux expériences de charge (c'est-à-dire le temps pendant lequel il doit rester fermé sur lui-même en court circuit) est au mois de quinze fois la durée pendant laquelle le condensateur est resté chargé. Ainsi, après une charge de 4 minutes, il faudra

Dans le Tableau suivant, n désigne la lecture faite à l'électromètre [expérience de décharge (*)], les nombres *calculés* se rapportent à une formule empirique qui sera indiquée par la suite, et qui, représentant très fidèlement les expériences de charge, permettra de se rendre compte de l'exactitude de la loi; ε est l'excès du calcul sur l'observation :

2 éléments Daniell.

	θ.	t.	n obs.	n calc.	ε.
1re *exp.*	0°	30°	50	52,7	+ 2,7
	90	90	22	23,0	+ 1,0
2e *exp.*	15	28	28	30,2	+ 2,2
	90	97	23	24,3	+ 1,3
	240	244	23,5	25,4	+ 1,9
3e *exp.*	15	22	28	25,7	— 2,3
	90	135	31,2	30,7	— 0,5
	300	305	28	25,9	— 2,1
	660	602	25	23,7	— 1,3
	1260	840	22	24,6	+ 2,6
4e *exp.*	10	33	40	41,1	+ 1,1
	75	75	21	22,6	+ 1,6
5e *exp.*	20	40	30	32,4	+ 2,4
	100	207	36,5	38,2	+ 1,7
	360	720	41,3	42,2	+ 0,9

DEUXIÈME LOI. — *La charge absorbée ou résiduelle est rigoureusement proportionnelle à la force électromotrice de la pile de charge.*

un repos d'une heure; après une charge d'une heure, un repos jusqu'au lendemain.

Inversement, dans les expériences de décharge, il faut avoir chargé le condensateur pendant un temps au moins quinze fois plus long que le temps pendant lequel on veut observer le résidu. Si toutefois le condensateur a été chargé pendant très longtemps (une nuit entière, par exemple), et si l'on veut étudier les résidus à courte durée, on peut se borner, dans des expériences successives, à recharger à chaque fois le condensateur pendant une durée au moins double de celle de l'observation du dernier résidu.

(*) Décharge du microfarad sur l'électromètre. *Voir* la note de la p. 487.

1° Forces électromotrices supérieures à 1 daniell (*).

Nombre d'éléments	θ.	t.	n obs.	n calc.	ε.
1. . . .	5ˢ	415ˢ	34	33,75	— 0,25
2. . . .	2	115	45,25	45,62	+ 0,37
4. . . .	5	20	45,5	42,92	— 2,58
6. . . .	5	10	45	42,96	— 2,04
	15	30	47,75	47,40	— 0,35
9. . . .	15	15	45	44,37	— 0,63
12. . . .	15	10	44	42,90	— 1,10
15. . . .	30	15	42,2	44,55	+ 2,35
20. . . .	50	10	26,2	28,03	+ 1,83
	35	10	36,2	37,57	+ 1,37
	30	10	41,5	42,42	+ 0,93

2° Forces électromotrices inférieures à 1 daniell.

$\theta = 5^s$, $t = 595^s$.

Fractions de daniell.	n obs.	n calc.	ε.
0,049	2,00	1,81	— 0,19
0,139	6,00	5,18	— 0,82
0,222	8,75	8,24	— 0,49
0,333	12,15	12,36	— 0,14
0,400	14	14,84	+ 0,84
0,500	18	18,55	+ 0,55
0,667	25	24,72	— 0,28

TROISIÈME LOI. — *Les charges résiduelles au sein d'un même condensateur ne sont pas proportionnelles aux capacités.*

D'après la formule (3 *bis*) pour rendre comparables les observations relatives aux subdivisions 0,1 ; 0,2 ; 0,5 du condensateur principal A et à ce condensateur A tout entier (le condensateur auxiliaire B, de 1 microfarad, demeurant toujours en entier dans le circuit), il faut multiplier les nombres *n* lus directement au micro-

(*) Dans une autre circonstance, cette proportionnalité a été vérifiée jusqu'à 60 daniells.

mètre par les facteurs $1+C$ correspondants, c'est-à-dire respectivement par 1,1; 1,2; 1,5; 2. Dans les Tableaux suivants, les deux subdivisions 0, 2 du condensateur Carpentier sont distinguées par un indice.

Charge par 2 éléments Daniell.

1re *exp.* $\theta = 5^s$, $t = 175^s$.

Subdivisions.	n	$n(1+C)$.
0,1	12	13,2
$0,2_1$. . . .	22	26,4
$0,2_2$. . . .	27,5	33
0,5	27	40,5

2e *exp.* $\theta = 5^s$, $t = 355^s$.

Subdivisions.	n	$n(1+C)$.
0,1	13,75	15,12
$0,2_1$. . . .	27,5	33
$0,2_2$. . . .	31,8	38,16
0,5	34	51

3e *exp.* $\theta = 5^s$, $t = 715^s$.

Subdivisions.	n	$n(1+C)$.
0,1	17,75	19,52
$0,2_1$. . . .	33,3	39,96
$0,2_2$. . . .	37,0	44,40
0,5	42,2	63,30

4e *exp.* $\theta = 0^s,00675$, $t = 0^s,063$.

Subdivisions.	n	$n(1+C)$.
0,1	2,6	2,86
$0,2_1$. . . .	6,5	7,8
$0,2_2$. . . .	7,75	9,3
0,5	9	13,5

Il est impossible de n'être pas frappé du défaut de proportionnalité entre les nombres de la première et de la troisième colonne, et spécialement de l'inégalité des résidus des deux subdivisions 0,2. De la moyenne d'un très grand nombre de mesures analogues aux précédentes, on déduit que les résidus des subdivisions du microfarad Carpentier sont respectivement proportionnelles aux nombres suivants :

Subdivisions du microfarad Carpentier.	Résidus.
0,1	0,104
$0,2_1$.	0,220
$0,2_2$.	0,301
0,5	0,375
Total. . 1,0	1,000

Pour le condensateur L. Clark Muirhead (tout au moins pour des durées inférieures à 120^s), on a de même :

Subdivisions du microfarad L.-Clark.	Résidus.
0,1	0,088
0,2	0,173
0,3	0,363
0,4	0,376
Total. . 1,0	1,000

Du défaut de proportionnalité que nous venons de constater, il résulte que *les subdivisions d'un condensateur commercial en mica ne peuvent, en général, être considérées comme proportionnelles à leurs valeurs nominales que pour une seule durée de charge ou de décharge* (*).

QUATRIÈME LOI. — *Le résidu d'un condensateur qui ne fuit pas est égal à la somme des résidus de ses subdivisions.*

Première expérience.

Charge par 2 éléments Gouy : $\theta = 5^s$, $t = 60^s$.

Subdivisions du microfarad Carpentier.	n.	$n(1+C)$.		
0,1	9,25	10,17	S = 97,54	Moyenne 97,67
$0,2_1$. . . .	18,00	21,60		
$0,2_2$. . . .	24,50	29,40		
0,5	24,25	36,37		
1,0	49,00	98,00		

(*) J'ai vérifié récemment que le condensateur Carpentier et le condensateur L. Clark ont dû être étalonnés pour des durées de fermeture très courtes, probablement inférieures à $0^s,1$. Quand on compare les subdivisions d'un même condensateur par la méthode du pont de Wheatstone, en plaçant sur le pont un électromètre capillaire très sensible, on reconnaît que l'étalonnage est exact *au millième près tout au moins* pour les contacts les plus courts qu'on peut réaliser à la main; si on prolonge un peu le contact, on trouve des capacités relatives trop fortes pour les subdivisions à fort résidu, comme 0,2 dans le condensateur Carpentier et 0,3 dans le condensateur L. Clark.

En ce qui concerne les valeurs absolues des capacités, j'ai trouvé que, pour les contacts les plus courts que l'on peut réaliser à la main, le microfarad L. Clark représente une capacité 1,0037 fois plus forte que le microfarad Carpentier.

Deuxième expérience.

Charge par 2 éléments Daniell : $\theta = 0^s,00675$, $t = 0^s,063$.

Subivisions du microfarad Carpentier.	n.	n(1 + C).		
0,1	2,6	2,86	S = 33,46	Moyenne 32,48
$0,2_1$. . . .	6,5	7,8		
$0,2_2$. . . .	7,75	9,3		
0,5	9	13,5		
1,0	15,75	31,5		

La vérification de cette loi établit que dans les condensateurs commerciaux la réaction des charges d'une subdivision sur les charges d'une autre subdivision est toujours négligeable.

8. *Expression empirique du résidu.* — Les résidus entre θ et $\theta + t$ du microfarad Carpentier et de ses subdivisions, pour toutes les valeurs des variables, à partir de $0^s,001$, sont suffisamment bien représentés par une formule unique, à laquelle il ne faut d'ailleurs attribuer qu'une valeur purement empirique

$$(4) \qquad [R]_\theta^{\theta+t} = A[(t+\theta)^c - \theta^c].$$

L'exposant c a pour valeur 0,09; le coefficient A change d'une subdivision du condensateur à une autre et n'est pas proportionnel à la capacité (3e loi).

En prenant pour unité de temps le millième de seconde, et pour unité de charge du microfarad celle qui correspond à une déviation de une unité de l'échelle de mon micromètre à la température ordinaire du laboratoire, j'ai trouvé pour le microfarad entier les valeurs concordantes de A, A = 40 pour un élément Gouy, A = 32 pour un élément Daniell. Le rapport 1,25 de ces deux nombres est très sensiblement égal au rapport $\frac{1,39}{1,117} = 1,244$ des forces électromotrices des deux éléments.

1° *Expériences à longue durée.*

Charge par 1 élément Gouy.

θ.	t.	n observé.	n calculé.	ε.
5ˢ	5ˢ	6	6,32	+ 0,32
5.......	10	10	9,72	— 0,28
5.......	15	11,67	12,20	+ 0,53
5.......	30	17,75	17,24	— 0,51
5.......	60	23,50	23,12	— 0,38
5.......	120	30,25	29,72	— 0,47
5.......	240	36,00	36,88	+ 0,88
5ˢ......	480ˢ	44,25	44,64	+ 0,39
120	120	9	7,40	— 1,60
360	360	8	8,12	+ 0,12
840	840	9,5	8,88	— 0,62
1860	1860	9,5	9,44	— 0,07
3840	1860	6,25	5,64	— 0,59

Charge par 2 éléments Daniell.

θ.	t.	n observé.	n calculé.	ε.
5	115	46	45,62	— 0,38
15	10	7,5	7,15	— 0,35
15	15	10,3	9,86	— 0,44
15	30	15,0	15,80	+ 0,80
15	45	19,5	20,20	+ 0,70
15	285	47,0	47,06	+ 0,06
60	120	18,0	17,91	— 0,09
60	300	29,5	30,11	+ 0,61
60	600	40,5	41,50	+ 1,00

2° *Expériences pendulaires à très courte durée.*

Charge par 2 éléments Daniell.
Durée d'oscillation : 4ˢ,63.

θ.	t.	n observé.	n calculé.	ε.
0ˢ,128	0ˢ,200	0,6	4,67	— 1,33
»	0 ,135	7,5	6,14	— 1,36
»	0 ,103	9	7,36	— 1,64
»	0 ,070	10	9,09	— 0,91
»	0 ,0532	12	10,69	— 1,31
»	0 ,0374	14	12,74	— 1,26
»	0 ,0293	15,5	14,21	— 1,29
»	0 ,0211	17	16,19	— 0,81
»	0 ,0171	18,5	17,54	— 0,96
»	0 ,0130	19,5	19,26	— 0,24
»	0 ,0110	20	20,35	+ 0,35
»	0 ,0089	22,5	21,64	— 0,86
»	0 ,0069	25	24,36	— 0.64
»	0 ,0051	27	25,34	— 1,67

Durée d'oscillation $1^s,462$.

θ.	t.	n observé.	n calculé.	e.
$0^s,0461$	$0^s,0477$	6	5,70	— 0,30
»	0 ,0181	9	10,01	+ 1,01
»	0 ,0067	15	15,49	+ 0,40
»	0 ,0044	20	17,92	— 3,08
»	0 ,0036	18,5	19,13	+ 0,63

Durée d'oscillation $1^s,84$.

θ.	t.	n observé.	n calculé.	e.
$0^s,0172$	$0^s,0147$	7	5,63	— 1,37
»	0 ,0049	11	10,69	— 0,31

De l'ensemble de ces expériences, il résulte que le résidu total entre θ et t, inaccessible à toute mesure directe, a pour expression empirique

$$R = A t^c. \tag{5}$$

Le résidu ainsi calculé, comparé à la charge principale n'en est jamais qu'une fraction assez petite qu'il nous reste à déterminer.

A cet effet, on charge le microfarad étudié A pendant un temps très long, à une différence de potentiel connue $\delta y = 0^{da},005$ par exemple, et on le décharge directement sur l'électromètre. D'après la première loi, si l'observation de l'équilibre a lieu au bout de 25 secondes par exemple, la division n, lue sur l'électromètre, mesurera (à l'aide des mêmes unités arbitraires qui ont servi jusqu'ici à exprimer le résidu) la charge prise par le microfarad longtemps reposé, puis chargé pendant 25 secondes. Si l'on en retranche la valeur du résidu calculé par la formule (5) pour la même différence de potentiel δy, et pour une durée de 25 secondes, on aura rapporté fictivement la charge à une durée nulle, et on pourra la rapporter de même à une durée t quelconque.

J'ai pris pour unité la charge acquise par le micro-

farad au bout de 1 seconde, et c'est à cette unité que j'ai définitivement comparé les résidus R.

En prenant pour unité de temps la seconde, j'ai trouvé pour le coefficient A la valeur 0,0336 :

$$R = 0,0336\, t^{0,09}.$$

De cette formule on déduit le Tableau suivant :

t.	R.
0^s,001	0,0180
0 ,01	0,0222
0 ,1	0,0273
1	0,0336
10	0,0412
100	0,0507
1000	0,0624

En général, quand la durée de charge est multipliée par 1.000, le résidu se trouve multiplié seulement par 1,862. La charge M_0 rapportée fictivement à une durée de charge nulle est les 0,966 sur la charge totale (*) au bout de 1 seconde.

9. *Effet de la résistance du circuit.* — Les formules relatives au résidu ne sont applicables aux courtes durées qu'à la condition expresse d'employer comme pile de charge une pile impolarisable de résistance très faible, et d'opérer toujours en court circuit.

Si l'on introduit dans le circuit de deux grands éléments Daniell une résistance métallique un peu consi-

(*) Dans son Mémoire, M. Klemencic se borne à annoncer que la décharge d'un condensateur en mica (de Max Rafael, de Breslau), mesurée au bout de 0^s,007 à l'aide d'un galvanomètre, s'accroît de 1,8 pour 100 quand la durée de charge varie de 0^s,002 à 1200^s.

Dans les mêmes limites de durée, la formule ci-dessus donne une variation de la charge *totale* du microfarad Carpentier égale à 4,44 pour 100; mais il faut remarquer que, pendant la durée d'oscillation du galvanomètre employé par M. Klemencic, il n'a pu s'écouler qu'une portion assez faible du résidu total. La quantité d'électricité qui s'écoule ainsi dépend à la fois de la qualité du condensateur, des constantes du circuit et du galvanomètre.

dérable, on obtient pour les résidus $[R]_{\theta}^{\theta+t}$ des nombres trop forts, et cette circonstance se présente pour des valeurs de la résistance d'autant plus petites que θ est lui-même plus court. Voici un exemple de cette variation :

$\theta = 0^s,033$.

Résistance en ohms.	n	
0	9,5	valeur normale.
1000	10	
5500	10	
6000	11	
6500	12	
7000	14	
7500	20	
8000	25	
8500	30	
10000	44,5	

Une résistance de 6000 ohms est donc excessive pour $\theta = 0^s,033$; j'ai trouvé de même qu'une résistance de 4000 ohms est excessive pour $\theta = 0^s,00255$, une résistance de 2000 ohms pour $\theta = 0^s,0179$; avec une durée θ de l'ordre du millième de seconde, on a observé, pour une résistance nulle, une déviation électrométrique égale à 15 (valeur normale), et pour 500 ohms une déviation qui amenait le mercure hors du champ.

En employant deux petits éléments Gouy (étalons Gouy ordinaires), dont la résistance est assez considérable, on n'a pu obtenir aucune mesure acceptable pour des valeurs de θ inférieures à $\frac{1}{30}$ de seconde.

Il suit de là que l'on doit absolument proscrire l'emploi des condensateurs étalons avec de courtes durées de charge et des circuits résistants. Les *mesures obtenues dans de telles conditions peuvent être dénuées de toute signification physique* (*).

(*) Soit un condensateur C de capacité invariable, relié à une pile im-

CHAPITRE II.

CONSTANTE DIÉLECTRIQUE DU MICA.

En opérant sur des condensateurs de bonne construction, je viens d'établir que la capacité de ces étalons varie peu avec la durée de charge, même quand on réduit celle-ci à $\frac{1}{500}$ de seconde par exemple. J'ai d'ailleurs indiqué une formule empirique qui permet de calculer ces variations ou résidus à l'aide de deux observations sur chacune des capacités à utiliser.

M. Carpentier, ayant bien voulu mettre à ma disposition les lames de mica qu'il emploie, j'ai entrepris l'étude directe de ces lames, afin de rechercher, s'il est possible, de caractériser complètement leurs propriétés diélectriques à l'aide d'un ou de plusieurs coefficients. Je n'ai pas admis *a priori* l'existence d'une

polarisable de force électromotrice E par une résistance R dénuée de self-induction.

La charge x du condensateur au bout du temps t est

$$x = \mathrm{CE}\left(1 - e^{-\frac{t}{\mathrm{CR}}}\right).$$

Faisons C égal à un microfarad et cherchons le temps t au bout duquel la charge est complète à 0,0001 près, c'est-à-dire le temps au bout duquel

$$e^{-\frac{t}{\mathrm{CR}}} = 0{,}0001.$$

En prenant la résistance R égale à n ohms, et exprimant R et C en unités absolues, on trouve aisément

$$t = 0{,}000092\, n. \tag{6}$$

Ainsi, pour obtenir des résultats corrects à 0,0001 près au bout de $0^s{,}001$, il ne faut pas que n soit notablement supérieur à 100; mais on pourrait faire $n = 1000$, si, au lieu d'un microfarad, on voulait charger seulement un dixième de microfarad.

Les résidus, dans nos expériences, étant mesurés à 0,0001 près de la charge totale, la formule (6) est directement applicable. Ses résultats concordent avec ceux qui ont été trouvés directement.

constante diélectrique; j'ai armé des lames de mica de diverses épaisseurs prises dans un même paquet et parfois extraites par clivage d'une même lame épaisse, et j'ai soumis chacune d'elles à une étude analogue à celle des condensateurs étalons, à l'aide des mêmes appareils et par des méthodes aussi voisines que possible de celles que j'avais employées précédemment.

1. *Méthodes de mesure.* — Ce qui distingue les expériences actuelles, c'est la petitesse de la capacité C par rapport à la capacité du microfarad auxiliaire B, que nous prendrons toujours pour unité.

Nous disposons la lame et le condensateur en cascade sur le circuit d'une pile constante, de force électromotrice E, et nous fermons le circuit pendant un temps t. Soit alors X la différence de potentiel des armatures de la lame, y celle des armatures du microfarad, on a

$$X + y = E, \tag{1}$$

$$CX = y, \tag{2}$$

d'où

$$C = \frac{y}{E - y}. \tag{3}$$

C étant très petit par rapport à l'unité, y est très petit par rapport à E; au degré d'approximation des expériences, on peut, en général, remplacer (3) par

$$C = \frac{y}{E}. \tag{3 bis}$$

Pour mesurer C, il suffit donc de décharger le microfarad sur l'électromètre. On lit le déplacement n du mercure, et, par le coefficient de proportionnalité, on en conclut la valeur de la différence de potentiel y, et par suite C.

2. *Mesure de la constante diélectrique.* — L'étude des étalons a établi que la variation de capacité entre $0^s,01$ et 1 seconde ne dépasse pas en moyenne (*) les

$$0,0336 - 0,0273 = 0,0033.$$

de la capacité évaluée au bout de 1 seconde; il y avait donc lieu de chercher si, dans les mêmes limites et au même degré d'approximation, on peut attribuer au mica une constante diélectrique invariable, c'est-à-dire s'il est possible de représenter la capacité de lames de surface utile S et d'épaisseur e quelconque par la formule

$$C = \frac{kS}{4\pi e}, \tag{4}$$

avec une valeur constante de k. L'épaisseur des lames étudiées était toujours inférieure à $0^{cm},01$, leur surface supérieure à 50 centimètres carrés, par suite, $\frac{S}{e}$ supérieur à 5000; dans ces conditions, il est inutile de recourir à l'artifice de l'anneau de garde, et l'on a le droit d'appliquer la formule (4) en prenant pour S la totalité de la surface armée.

La mesure de e était réalisée au sphéromètre en ayant soin d'interposer entre la pointe et le mica une petite lame de verre à faces parallèles; j'effectuais sur chaque lame huit lectures relatives à différents points; toutes les lames pour lesquelles les huit lectures n'étaient pas suffisamment concordantes étaient rejetées.

Les lames conservées sont argentées par le procédé Martin; on enlève l'argent sur les bords à l'aide d'acide azotique et, par des lavages et des dessiccations répétées, on débarrasse le plus possible la surface

(*) *Voir* le Tableau de la p. 498.

mise à nu de toute trace d'électrolytes. Enfin on vernit les bords à la gomme-laque et l'on dessèche à 140 degrés.

J'ai d'abord constaté, conformément aux prévisions, que, pour une même lame et pour toutes les durées de fermeture de $0^s,1$ à 1 seconde, on obtient une déviation identique de l'électromètre. Par exemple, pour une lame dont l'épaissenr était de $50^\mu,75$ et la surface armée de $66^{cq},41$ chargée par un élément Daniell, cette déviation avait pour valeur moyenne $n = 32,33$, d'où l'on déduit pour la capacité de cette lame, évaluée en microfarads, $0^{mf},00917$, ou, en valeur électrostatique,

$$C = 0,00917.10^{-16}.9.10^{20} = 8,253.10^3 ;$$

on a donc, d'après la formule (4),

$$k = \frac{4\pi Ce}{S^1} = \frac{12,566.8,253.10^3.0,0050,75}{66,41} = 7,91.$$

Des mesures analogues réalisées sur des lames d'épaisseur variant de $14^\mu,75$ à 89^μ ont donné :

S.	e.	k.
$49^{cq},50$	$14^\mu,75$	7,91
65 ,34	29 ,09	8,00
65 ,11	34 ,88	
66 ,41	50 ,75	7,91
64 ,15	89 ,00	8,09
Moyenne		7,98

Le mica auquel se rapportent ces mesures est une *muscovite* parfaitement incolore et transparente fournie par M. Carpentier. Dans une direction normale aux plans de clivage, *ce mica possède une constante diélectrique bien déterminée* pour laquelle nous adopterons le nombre 8 (*).

(*) J'ai retrouvé le même nombre pour des lames extraites par clivage

On remarquera que ce nombre est plus de trois fois supérieur au carré de l'indice moyen du mica, et que, d'après ce qui précède, la constante diélectrique du mica, évaluée ici pour une durée de $\frac{1}{10}$ de seconde environ, ne diminuerait que de moins du $\frac{1}{30}$ de sa valeur, si on la rapportait fictivement à une durée nulle.

3. *Application à la construction des étalons.* — Les lames de mica employées à la construction des étalons sont armées de feuilles d'étain que l'on fait adhérer sur leurs deux faces par une couche mince de vernis à la gomme-laque. En opérant ainsi dans mes premiers essais, je me suis aperçu qu'il était impossible d'arriver à des valeurs concordantes de la constante diélectrique; la capacité paraissait parfois presque indépendante de l'épaisseur, et la constante k calculée était d'autant plus grande que l'épaisseur était elle-même plus considérable. Ainsi, pour quatre lames de surfaces à peu près égales et d'épaisseur variant de $77^{\mu},25$ à $43^{\mu},85$, j'ai trouvé :

Charge par 4 éléments Daniell.

Numéro.	Épaisseur.	Déviation α.	k.
1.	$77^{\mu},25$	20,5	2,43
2.	64 ,35	22	2,13
3.	52 ,7	22	1,74
4.	43 ,85	24	1,58

Au reste les lames ainsi préparées augmentent de capacité quand on les charge de poids ou qu'on les serre dans une presse à vis. Sous une charge de 32 kilo-

d'une lame très belle, d'origine inconnue, appartenant depuis longtemps à mon laboratoire.

En opérant sur deux belles lames de $0^{m},20$ de côté et d'épaisseurs relativement égales à $50^{\mu},8$ et à 108^{μ}, M. Klemencic a trouvé $k = 6,64$. Ces lames reposaient sur une plaque de fer recouverte elle-même d'une couche de cuivre électrolytique amalgamé. La seconde armature était constituée par du mercure pur à l'intérieur d'un anneau de fer amalgamé.

grammes la capacité de la lame 3 s'est trouvée multipliée par 1,57; délestée, la même lame a conservé une capacité égale à 1,41 fois sa capacité primitive. Un faisceau de 25 lames superposées, fortement serré à la presse, a augmenté de capacité dans un rapport égal à 1,9. Aucun de ces effets ne s'observe sur les lames argentées.

Il est aisé de se rendre compte, *a posteriori*, de cette différence de propriétés. L'argenture est directement et parfaitement adhérente : l'étain, après la dessiccation à 140 degrés, n'adhère pas au mica, mais bien à des granules de gomme-laque, laissant entre eux une couche d'air irrégulière. S'il y a, en outre, des soufflures, c'est-à-dire des portions sans adhérence, la pression les fera disparaître ou du moins les diminuera, et l'on doit s'attendre à une forte augmentation temporaire et à une certaine augmentation permanente de la capacité ; mais les granules de gomme-laque résistent à la compression, et les armatures demeurent à une distance sensible du mica. Admettons, pour chacune des couches d'air, une épaisseur moyenne de 5^{μ} seulement ; puisque la constante diélectrique du mica est 8, l'ensemble des deux couches équivaut électriquement à une épaisseur 80^{μ} de mica, et sa présence suffira à réduire au tiers la constante diélectrique apparente d'une lame de mica d'épaisseur égale à 40^{μ}.

Pour justifier pleinement ces conclusions, j'ai fait les expériences suivantes :

1° On prépare un cadre en paraffine, on y colle une lame de mica que l'on fait adhérer sur les bords en passant un fer chaud sur la face opposée. On obtient ainsi une petite cuve à fond de mica que l'on fait flotter sur du mercure bien sec et que l'on remplit de mer-

cure ; en d'autres termes, on réalise un condensateur en mica à armatures de mercure et sans interposition d'air (*).

Voici les résultats :

S.	e.	k.
42cq,03	64μ,06	9,93
43 ,10	50 ,75	8,53
52 ,75	48 ,37	7,97
43 ,52	41 ,87	7,28
	Moyenne	8,43

La valeur moyenne ainsi obtenue pour k se confond, à $\frac{1}{16}$ près, avec la valeur vraie de la constante diélectrique.

2° On peut aussi conserver les armatures d'étain et rétablir la continuité entre l'étain et le mica par un liquide faiblement électrolytique, qui se comportera ici comme un conducteur parfait.

La lame n° 3 de l'avant-dernier Tableau a été soigneusement débarrassée de toute trace de vernis, armée de deux feuilles d'étain simplement posées à sa surface, et serrée le plus fortement possible dans une presse à vis, avec ou sans interposition d'une goutte de liquide entre l'étain et chaque face de la lame. Voici les valeurs de k obtenues *pour une durée très courte :*

	k.
Pas de liquide	2,32
Eau distillée	7,88
On dessèche à 140°	2,27
Alcool absolu	8,24
On dessèche à 140°	2,16

La moyenne des valeurs de k avec interposition

(*) Malheureusement il est impossible de dessécher directement un tel système à 140°, et il peut subsister des traces d'électrolytes produisant de grands résidus : les mesures seront donc moins concordantes qu'avec les lames argentées.

d'électrolyte est 8,06 et, sans interposition, 2,25 (*). La démonstration est complète.

Il faut conclure de là que, dans la construction des étalons de capacité montés à l'étain, on emploie beaucoup plus de mica qu'il n'est nécessaire, ce qui augmente, sans profit pour leurs qualités électriques, leur prix de revient, leur volume et leur poids.

4° *Étude des résidus*. — L'étude des résidus peut être réalisée, pour uue lame unique, par les méthodes qui ont été appliquées aux condensateurs étalons (p. 483 à 500); mais les quantités d'électricité à mesurer étant, en général, de l'ordre du $\frac{1}{100}$ de celles auxquelles on avait affaire précédemment, il sera nécessaire de multiplier le nombre des éléments de charge. Dès lors les expériences deviennent très délicates par l'importance relative des charges parasites qui peuvent se développer sur le microfarad auxiliaire en vertu soit de résidus antérieurs, soit de fuites même très minimes ayant pour siège les commutateurs et interrupteurs.

Pour apporter dans cette étude la clarté désirable, je rappellerai d'abord l'une des lois établies pour les condensateurs étalons : *Dans un condensateur qui ne fuit pas, et qui s'est longtemps reposé, la charge absorbée entre* θ *et* $\theta + t$ *est identique au résidu rendu libre entre* θ *et* $\theta + t$ *sur le même condensateur précédem-*

(*) Cette expérience réussit même avec interposition de vernis à la gomme-laque frais. Si l'on interpose une dissolution franchement électrolytique, du sulfate de soude, par exemple, il est impossible de garantir absolument les bords de la lame et celle-ci acquiert une conductibilité superficielle trop grande pour qu'une mesure de capacité soit possible. Toutefois, si l'on dessèche à 140°, l'étain demeure collé au mica par des granules de sulfate de soude anhydre non conducteur, et la lame jouit, aux premiers instants, de propriétés identiques à celles des lames ordinaires montées à l'étain, vernies et séchées à 140°.

ment chargé pendant un temps indéfini, à l'aide de la même pile.

Nous supposerons que l'on a affaire à une lame A récemment préparée, non encore vernie et imparfaitement desséchée. Le courant de charge C entre θ et $\theta + t$, pour des valeurs de θ supérieures à quelques secondes, est presque uniforme, c'est-à-dire que la charge recueillie par le condensateur auxiliaire B est presque proportionnelle à t.

De plus, le courant de décharge D, entre θ et $\theta + t$, transporte une quantité d'électricité qui, bien que considérable pour un résidu, se montre toujours très inférieure à la précédente, par exemple de deux à dix fois plus faible. A ces caractères et principalement *à l'inégalité des courants de charge et de décharge*, on doit juger que les bords de la lame A sont le siège d'une fuite continue d'électricité, que la couche superficielle du mica est conductrice à la manière des électrolytes.

Tout ce qui modifie l'état de la couche superficielle modifie aussi le courant de charge C et, à un moindre degré, le courant de décharge D.

A mesure que la dessiccation de la lame A fait des progrès, C diminue rapidement, D plus lentement, et tous deux se rapprochent de l'égalité (*). L'égalité approchée de C et de D, se maintient d'ailleurs, pour

(*) Des lavages répétés à l'eau et à l'alcool, l'application d'une température de 140° à 180°, maintenue pendant une durée de un à trois quarts d'heure, permettent d'amener la suface du mica à l'état désirable; une chauffe trop longue suivie d'un refroidissement lent dans l'étuve communique de nouveau au mica une certaine conductibilité superficielle qu'un simple lavage à l'alcool, suivi d'une courte dessiccation, à 140°, suffit en général à faire disparaître. L'application d'une couche de vernis sur les bords de la lame a pour effet principal de soustraire la surface du mica aux influences atmosphériques et de la conserver dans un état désormais invariable.

une même lame, dans des limites où le résidu, devenu très faible, peut encore varier au moins du simple au double.

Quand cette égalité est obtenue, on peut être certain que la formule empirique

$$(5) \qquad [R]_{\theta}^{\theta+t} = A[(t+\theta)^c - \theta^c].$$

établie, p. 495, pour le résidu des condensateurs étalons, est applicable avec des valeurs variables de A et, en général, avec $c = 0{,}09$.

En voici trois exemples (*).

Charge par 10 éléments Daniell.

Lame I; capacité $0^{mf},0087$.

θ.	t + θ.	n observé.	n calculé.	ε.
2ˢ	5ˢ	2,2	2,06	— 0,14
2	10	4,2	3,85	— 0,35
2	30	7,6	7,03	— 0,57
2	60	9,5	9,46	— 0,04
2	120	12,2	12,18	— 0,02
2	300	16,6	16,60	0,00

Lame II; capacité $0^{mf},0161$.

θ.	t + θ.	n observé.	n calculé.	ε.
2ˢ	5ˢ	4,5	4,70	+ 0,20
2	8	7,75	7,18	— 0,57
2	15	11,2	10,81	— 0,39
2	30	15,0	15,00	0,00
2	60	18,0	18,90	+ 0,90
2	120	24,5	24,22	— 0,28
2	300	29,5	20,90	+ 1,40
2	600	36	36,53	+ 0,53
2	1380	45	43,53	— 1,47

(*) Expériences par décharge directe de la lame sur l'électromètre.

Lame III; capacité $0^{mf},0104$.

θ.	t + θ.	n observé.	n calculé.	ε.
2s.........	5s	7,00	6,89	— 0,13
2.........	15	15,00	15,84	+ 0,84
2.........	30	20,00	21,98	+ 1,98
2.........	60	27,30	29,00	+ 1,70
2.........	120	35,50	35,50	0,00
2.........	300	45,00	45,37	+ 0,37

Le résidu proportionnel des lames I et II, évalué entre 2 secondes et 300 secondes est à peu près le $\frac{1}{53}$ de la charge principale. Entre les mêmes limites le résidu proportionnel de III est le $\frac{1}{22}$ de la charge.

Certainement aucune des trois lames, au moment des mesures, n'avait été amenée à son minimum de résidu. Ainsi la lame I, à une phase antérieure de sa préparation, avait offert (de 2^s à 300^s) un résidu de $\frac{1}{80}$ seulement et, par des tâtonnements répétés, on arrive le plus souvent à des résultats du même ordre. Toutefois, aucun caractère *certain* ne garantit que le résidu que l'on observe est bien le plus petit possible, et je n'ai pu fixer à cet égard aucun coefficient définitif.

5. *Origine du résidu.* — D'après la manière dont on réduit les résidus, *par des opérations qui n'intéressent que les bords libres des condensateurs*, on pourrait penser que le résidu, à toutes ses phases, est aussi purement superficiel; qu'il a pour unique origine la présence de matières électrolytiques étrangères dans la couche la plus extérieure du mica. Les expériences suivantes ne paraissent guère compatibles avec cette hypothèse.

a. Une lame de mica est amenée par tâtonnement à un minimum relatif de résidu dont on détermine la valeur proportionnelle. On enlève ensuite l'argenture

par places, comme l'indique la *fig.* 4, ce qui a pour double effet de diminuer la capacité et d'augmenter l'importance relative des bords ; le résidu proportionnel reste du même ordre. D'un coup de ciseau on sépare la lame en deux suivant *mm* et chacune des deux lames, après enlèvement de l'argenture le long de *mm*, peut encore être ramenée à un résidu du même ordre. On peut fendre la seconde lame suivant les lignes *p* sans modifier le résultat.

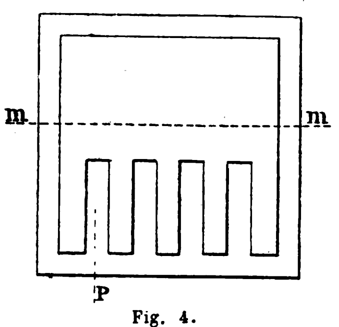


Fig. 4.

b. Nous savons que la capacité de lames de mica montées à l'étain est de 3 à 5 fois plus faible que celle des mêmes lames argentées et croît dans un rapport considérable avec la pression. Une lame de mica étamée peut être amenée à un minimum relatif de résidu dont la valeur proportionnelle de 2 secondes à 300 secondes est voisine de $\frac{1}{80}$, comme pour les lames argentées. La grandeur absolue de ce résidu varie par la pression à peu près comme la capacité, c'est-à-dire que sa valeur relative ne change guère.

c. M. Carpentier avait préparé, sur ma demande, un condensateur construit d'après les mêmes règles que ses étalons ; mais chacune des lames de mica employées directement pour ceux-ci avait été coupée en quatre, de sorte qu'à surface égale l'étendue des bords se trouvait multipliée par 2. Le résidu de ce condensateur (*) de 2 secondes à 300 secondes est de $\frac{1}{60}$ tandis que, pour les diverses subdivisions de l'étalon

(*) Capacité $0^{mf},13$.

étudié ci-dessus, ce résidu variait de $\frac{1}{33}$ (subdivision $0,2_2$) à $\frac{1}{65}$ (subdivision 0,5) et qu'il est de $\frac{1}{49}$ pour le microfarad entier.

Il est donc vraisemblable que les très faibles résidus appartiennent, au moins partiellement, à la masse du mica, et constituent *une sorte d'élasticité électrique résiduelle*, comme je l'ai indiqué dans un Mémoire antérieur (*).

6. *Effet de la température.* — Il était particulièrement intéressant de savoir ce que deviennent la constante diélectrique et le résidu quand on fait varier la température dans des limites très larges.

La lame à étudier est supportée par des cales en porcelaine, dans une petite étuve en cuivre de Wiesnegg, à doubles parois, chauffée par deux forts becs Bunsen et munie d'un régulateur. Un thermomètre de Baudin en verre recuit, dont le réservoir est au niveau de la lame, indique la température, qui peut être maintenue sensiblement fixe à un point quelconque entre 100 degrés et 400 degrés. Des fils de platine appuyés sur les deux faces de la lame et protégés par des tuyaux de pipe établissent la communication des armatures avec le circuit extérieur.

De 100 degrés à 300 degrés on ne rencontre pas de difficultés bien graves. Mais, au delà de 300 degrés, l'argenture est rapidement attaquée au contact de l'air; elle se transforme en une couche translucide, blanchâtre, insoluble dans l'eau, dont la production modifie absolument les propriétés superficielles du mica ; au reste, la lame est ainsi promptement désarmée, ce qui met fin à l'expérience.

Pour aller plus loin, j'ai dû protéger l'argenture par

(*) *Journal de Physique*, 2e série, t. IX.

une couche de cuivre électrolytique, ce qui atténue les inconvénients sans toutefois les supprimer. J'ai pu ainsi pousser les mesures jusqu'au voisinage de 400 degrés.

Nous distinguerons les résultats relatifs à la conductibilité superficielle, aux résidus et à la constante diélectrique.

a. Conductibilité superficielle. — De 15 degrés à 200 degrés environ, on constate l'égalité à peu près parfaite des courants C et D de charge et de décharge. Au delà, cette égalité ne subsiste pas, c'est-à-dire que le condensateur fuit et que la lame est devenue conductrice soit par sa surface, soit à travers son épaisseur, soit à la fois des deux manières.

Il est difficile de se prononcer sur l'existence d'un conductibilité propre du mica (à travers sa masse) au-dessous de 400 degrés ; mais on peut être certain que, dans ces limites, la conductibilité superficielle est largement prépondérante. Voici, en effet, ce que l'on observe :

Au-dessus de 200 degrés, la conductibilité résultante à une température fixe donnée croît assez rapidement avec le temps de chauffe, ce qui révèle un changement d'état dont il reste à déterminer le siège. Or, si on laisse refroidir la lame, elle demeure conductrice à la température ordinaire; mais il suffit de laver les bords au pinceau avec de l'alcool, puis de dessécher quelques minutes à 140 degrés pour rendre à la lame ses propriétés primitives. L'altération du mica est donc purement superficielle.

Rappelons d'ailleurs qu'au-dessus de 300 degrés l'argenture est attaquée et l'altération superficielle devient manifeste. En même temps, la conductibilité croît

dans un rapport énorme. Si l'on retarde l'altération de l'argenture par le cuivrage, la conductibilité fait aussi des progrès moins rapides. Cette altération et cette conductibilité paraissent absolument corrélatives.

Le tableau suivant se rapporte à une lame argentée et cuivrée, chauffée pour la première fois. C et D expriment en unités arbitraires les courants de charge et de décharge entre $\theta = 2''$ et $t + \theta = 5''$; la différence C — D est proportionnelle à la conductibilité résultante au moment de la double mesure :

Température.	C.	D.	C — D.
182°,0	9°,35	8°,97	0°,38
237 ,0	40 ,75	26 ,25	14 ,50
287 ,5	73 ,10	35 ,60	37 ,50
318 ,5	235 ,00	65 ,00	170 ,00

On voit avec quelle rapidité croît la conductibilité résultante. Bien entendu, si l'on répétait les mesures en laissant la température s'abaisser de nouveau à 182 degrés, on trouverait des conductibilités plus fortes que pendant la chauffe.

b. Résidus. De 0 degré à 200 degrés, c'est-à-dire tant que les courants de charge et de décharge sont égaux, la valeur du résidu est nettement déterminée. Quand cette égalité cesse d'avoir lieu et que la lame conduit superficiellement, le courant de charge C est supérieur, le courant de décharge D inférieur au résidu R, que l'on observerait si l'on pouvait supprimer la conductibilité, et que nous nommerons *le résidu vrai*, car si une partie de C fuit par les bords de la lame et ne contribue pas à former R, une partie de R fuit aussi par les bords pendant l'intervalle où la lame met ce résidu en liberté et ne se retrouve pas dans D.

Mais, d'après ce que nous savons de la marche du

résidu, on peut prévoir, et l'expérience confirme que le rapport $\frac{C - D}{R}$ des quantités d'électricité *conduite superficiellement* et *absorbée* tend rapidement vers zéro avec la durée t de la charge. La moyenne $\frac{C + D}{2}$ représentera donc le résidu avec une approximation d'autant plus grande que la durée t sera elle-même plus petite. De 200 degrés à 300 degrés, on obtient sans peine la valeur du résidu même par des contacts effectués à la main. Au delà, il devient nécessaire d'avoir recours à des observations pendulaires.

Voici les résultats relatifs au *résidu vrai*. A toute température, ce résidu R est représenté par une formule empirique

$$[R]_{\theta}^{\theta+t} = A[(t+\theta)^c - \theta^c],$$

analogue à celle qui convient à la température ordinaire; mais, tandis qu'*à froid* la valeur de c la plus convenable est en général 0,09, on a toujours, au-dessus de 100 degrés, $c = 0{,}4$ (*).

Voici d'abord les résultats d'expériences à longue durée au-dessous de 200 degrés :

Charge par 15 éléments Daniell.

Lame a. Température 137°; $c = 0{,}4$.

θ.	t + θ.	n observé.	n calculé.	ε.
2ˢ	10ˢ	7,1	7,08	− 0,02
2	20	12,05	12,18	+ 0,13
2	60	23,6	23,34	− 0,26
2	120	33,45	33,36	− 0,09

(*) On n'a pas réalisé de mesures pour les températures comprises entre la température ordinaire et 100 degrés.

Lame b. Température 199°; $c = 0,4$,

θ	t + θ.	n observé.	n calculé.	ε.
2ˢ.....	4ˢ	9,8	9,84	+ 0,04
2.....	5	14,16	13,68	— 0,56
2.....	6	17,1	16,97	— 0,13
2.....	10	27,75	27,70	— 0,05
2.....	12	33,2	32,20	— 1,00
2.....	15	38,5	38,08	— 0,45
2.....	18	43,0	43,29	+ 0,29

Voici, d'autre part, le résultat d'expériences pendulaires réalisées entre 300 et 400 degrés; on a mesuré le courant de charge total de o à t et on l'a représenté par une formule

$$C = B + R = B + At^c,$$

dans laquelle A, B et c sont des constantes. Les valeurs de n données dans les tableaux se rapportent à la partie variable

$$R = At^c;$$

l'unité de temps (correspondant à un tour de vis de l'appareil à contacts) vaut $0^s,00587$.

Lame argentée et cuivrée n° 1; charge par 1 élément Daniell.

Température 343°; $c = 0,4$,

t.	n observé.	n calculé.	ε.
1ˢ......	2,00	2,35	+ 0,35
2......	3,00	2,85	— 0,15
10......	5,7	5,1	— 0,60
20......	6,8	6,65	— 0,15
30......	7,6	7,85	+ 0,25

Température 372°; $c = 0,4$.

t.	n observé.	n calculé.	ε.
1ˢ......	4,5	4,7	+ 0,4
2......	5,7	5,7	0,0
5......	7	7,9	+ 0,9
10......	9,5	10,2	+ 0,7
20......	12	13,3	+ 1,3
30......	15,7	17,0	+ 1,3

Température 381°,5 ; $c = 0,4$.

t.	n observé.	n calculé.	ε.
0s,5.	6,0	6,0	0,0
2,0.	8,9	8,5	— 0,4
5,0.	10,5	11,8	+ 1,3
10,0.	15,0	15,3	+ 0,3
20,0.	20,0	20,0	0,0
30,0.	22,0	23,5	+ 1,5

Malgré l'analogie des formules empirique, la marche générale du résidu est très différente à la température ordinaire et aux températures supérieures à 100 degrés. On s'en convaincra par l'examen du tableau suivant, dans lequel on a pris pour unité la valeur du résidu formé au bout de 0s,001 :

t.	R $c = 0,09$.	R $c = 4$.
0s,001	1	1
0,01	1,230	2,512
0,1	1,513	6,310
1	1,862	15,85
10	2,291	39,81
100	2,819	100,00
1000	3,417	251,2
$t = 2''$, $t + \theta = 300''$	1,244	134,3

Par exemple, si l'on a mesuré le résidu entre 2s et 300s et si l'on veut en déduire le résidu formé au bout de 0s,001, il faut, dans le premier cas, diviser par 1,237 et, dans le second, par 134,3. Cette remarque est importante au point de vue de la recherche de la constante diélectrique; elle établit que, malgré la grandeur que possèdent à haute température les résidus à longue période, la charge totale pour une durée voisine du millième de seconde diffère toujours fort peu de la charge limite rapportée fictivement à une durée nulle.

Il est possible de comparer entre eux les résidus observés au-dessus de 100 degrés : car la valeur de c qui leur convient étant la même, ils demeurent pro-

portionnels entre eux pour des durées quelconques Toutefois, cette comparaison ne fournit que des renseignements de signification un peu vague, car le résidu dépend à la fois de la température et de l'état superficiel de la lame, et nous avons vu qu'à partir de 200 et surtout de 300 degrés la surface du mica s'altère rapidement. En opérant le plus vite possible sur des lames argentées et cuivrées, on trouve que, jusqu'au voisinage de 300 degrés, le résidu varie suivant une fonction exponentielle de la température Θ

$$R = R_0 a^{\Theta}.$$

Dans le tableau suivant, on a pris pour unité le résidu calculé pour une température de 100 degrés; Θ représente la température centigrade et l'on a

$$a = 1,01625.$$

Θ.	R observé.	R calculé.	ε.
100°,0.	»	1,00	»
154 ,5.	2°,16	2,11	— 0,05
180 ,0.	3 ,21	3,18	— 0,03
212 ,0	6 ,06	6,08	+ 0,02
236 ,8.	9 ,22	9,07	— 0,15
258 ,5	14 ,99	12,86	— 2,13
287 ,5.	19 ,01	18,01	— 1,00

Au delà de 300 degrés, la variation est encore plus rapide que ne l'indiquerait la formule.

De 15 à 380 degrés, le résidu (évalué entre 2^s et 300^s), peut se trouver multiplié par plus de 600.

c. *Constante diélectrique.* — D'après ce qui précède, la mesure de la constante diélectrique rapportée fictivement à une durée nulle, ne présente pas de difficultés graves, même au voisinage de 400 degrés.

En bornant l'approximation à $\frac{1}{50}$, il suffira de mesurer la charge de la lame pour les contacts les plus

courts que l'on peut produire à la main jusque vers 200 degrés, et pour des contacts de l'ordre du 200e au 500e de seconde réalisés à l'aide du pendule jusqu'à 300. La lecture faite à l'électromètre ne diffère pas de celle que l'on obtient pour les très courtes charges, à la température ordinaire. De 15 à 300 degrés, la constante diélectrique ne varie donc pas de la $\frac{1}{50}$ partie de sa valeur.

De 300 à 400 degrés il est nécessaire de faire, pour une même température, une série d'observations pendulaires, pour des durées variant par exemple de $0^s,005$ à $0^s,15$. Nous avons vu (p. 516) que le résultat de ces observations se représente en fonction du temps t par une formule empirique

$$C = B + At^{0,4}.$$

La limite B, calculée pour une durée nulle, se confond, au degré d'approximation des mesures, avec la charge à courte durée et à la température ordinaire.

7. *Conclusions générales.* — Ainsi, par ces expériences, *la constante diélectrique du mica rapportée fictivement à une durée nulle* se révèle à nous comme un élément d'une remarquable fixité. Dans des limites où la surface altérée du mica devient nettement conductrice, où le résidu récupérable augmente jusqu'à atteindre plusieurs centaines de fois sa valeur initiale, cette constante conserve sa valeur à $\frac{1}{50}$ près. La constante diélectrique appartient donc au groupe de propriétés spécifiques que la température altère peu, comme la densité, comme l'indice de réfraction auquel la théorie de Maxwell la rattache.

En ce qui concerne la relation de Maxwell $k = n^2$, il ressort de l'ensemble de ce travail qu'elle ne s'applique

pas au mica. On objectera qu'elle se vérifierait peut-être pour des durées très inférieures au millième de seconde. Mais alors comment expliquer le double fait expérimental de l'invariabilité de *k tel que je l'ai mesuré* et de l'énorme variation du résidu avec la température dans les mêmes limites ?

Il serait plus logique d'imaginer que le mica n'est pas un diélectrique homogène à la manière des liquides purs ; par exemple qu'il est constitué par des lamelles diélectriques parallèles aux plans de clivage, séparées par des lamelles électrolytiques ; ou encore que des globules électrolytiques sont irrégulièrement disséminés dans sa masse. Il me paraît encore plus sage d'accepter purement et simplement les faits et d'en réserver l'explication jusqu'à ce que des expériences analogues aux précédentes aient été réalisées pour un nombre suffisant de substances.

Je me propose d'étendre incessamment mes mesures aux liquides doués d'une certaine conductibilité électrolytique.

Depuis la rédaction de ce mémoire (juillet 1891), M. Carpentier a bien voulu, sur ma proposition, mettre à l'étude la construction de condensateurs étalons en mica argenté. Il résulte de ce qui précède que ces appareils seront plus légers, moins volumineux que les condensateurs montés à l'étain : ils promettent surtout des garanties d'invariabilité plus certaines, quels que soient les changements de température auxquels ils peuvent se trouver soumis ; car, quelles que soient les précautions prises à cet égard, il est à craindre que, dans les anciens condensateurs, le serrage des vis qui compriment les lames ne se modifie à la longue, ce qui entraînerait une variation de capacité. Rien de

tel ne peut se produire avec les condensateurs argentés, insensibles à l'effet de la pression.

J'ai présenté à la Société de physique, dans sa séance du 20 novembre 1891, les deux premiers condensateurs de ce système construits par M. Carpentier; ils ont respectivement pour capacités un demi-microfarad et un microfarad. Ce dernier est contenu dans une boîte plate, ébonite et cuivre, de 12 centimètres de côté et de 3 centimètres d'épaisseur; il ne pèse que $1^{kg},500$ au lieu de $6^{kg},300$, poids ordinaire des microfarads-étalons de M. Carpentier. Au point de vue des résidus, le microfarad argenté est très sensiblement identique au microfarad-étalon (n° 2985-10) étudié dans le premier chapitre de ce mémoire.

J'ai fait tout récemment quelques expériences sur l'influence exercée sur les condensateurs-étalons par les variations de température du laboratoire. La capacité pour une durée infiniment courte ne varie pas, comme on pouvait le prévoir par ce qui précède. Quant au résidu, il croît assez rapidement avec la température. Toutefois, les enveloppes des condensateurs les protègent si bien que ce n'est qu'au bout d'un temps fort long que l'équilibre de température peut être considéré comme établi; pour les condensateurs montés à l'étain, il y faut généralement plusieurs heures.

Dans les limites où j'ai pu opérer (de 7° à 20°), le résidu R d'un condensateur, étamé ou argenté, croît à peu près linéairement; on peut, à titre de première approximation, le calculer par la formule

$$R = R_0(1 + 0,077\,t).$$

E. Bouty.



NOTE

SUR LA CAPACITÉ ÉLECTROSTATIQUE

DES

CIRCUITS TÉLÉGRAPHIQUES ET TÉLÉPHONIQUES

Depuis les récents progrès de la télégraphie rapide et de la téléphonie à grande distance, l'étude de la période variable du courant électrique sur les lignes aériennes a acquis une importance de plus en plus grande. Les praticiens eux-mêmes ont été amenés à examiner de près le rôle de la capacité électrostatique, de la self-induction et de l'induction mutuelle de ces lignes, ces éléments étant ceux qui, avec la conductibilité des fils, exercent la principale influence sur la vitesse et la netteté des transmissions.

Nous nous proposons, dans cette note, de montrer comment on peut calculer la capacité électrostatique d'un circuit aérien à simple ou à double fil, en tenant compte de l'influence du sol et de celle des fils voisins posés sur la même ligne. On sait, par des exemples récents, l'intérêt que présente ce calcul, notamment dans l'étude d'un projet de nouvelle communication téléphonique interurbaine.

On connaît depuis longtemps (*) des formules per-

(*) Voir *Annales télégraphiques*, 1881, p. 291, et 1882, p. 185 : Capacité électrostatique et résistance de l'espace compris entre deux cylindres parallèles à bases circulaires, par Blavier.

mettant de calculer la capacité d'une ligne aérienne dans les deux cas suivants :

1° *Ligne à fil simple en présence du sol.* On a :

$$\frac{1}{C} = \frac{k}{0,2172} \log\left(\frac{2h}{r}\right). \qquad (1)$$

r désignant le demi-diamètre du fil, h sa hauteur au-dessus du sol supposée uniforme, *log* le symbole des logarithmes vulgaires, et C la capacité électrostatique du fil par unité de longueur. Enfin k est un coefficient numérique, dont la valeur est égale à 1 dans le système *électrostatique* d'unités et à 900 dans le système *électromagnétique pratique*. On ne doit pas oublier que dans ce dernier système l'unité de longueur est un *quadrant*, soit 10.000 kilomètres, et que l'unité de capacité est le farad. Ainsi, pour un fil aérien de 5 millimètres de diamètre, posé à 2 mètres au-dessus du sol, on trouve :

$$C = \frac{0,2172}{900 \times 3,204} = 75 \times 10^{-6} \text{ farads} = 75^{\varphi},$$

ce qui donne $0^{\varphi},0075$ par kilomètre (1 kilom. $= 10^{-4}$). Pour un fil de 3 millimètres, posé à 12 mètres au-dessus du sol, on trouverait de même $0^{\varphi},0057$ par kilomètre. La capacité augmentant avec le diamètre $2r$ du fil et diminuant lorsque la hauteur h croît, ces deux chiffres $0^{\varphi},0075$ et $0^{\varphi},0057$ sont deux limites extrêmes entre lesquelles sera comprise en général la capacité d'un fil de diamètre et de hauteur usuels, calculée par la formule (1).

2° *Ligne à fil double supposée soustraite à l'influence du sol.* On a :

$$\frac{1}{C} = \frac{k}{0,2172} \log\left(\frac{\delta^2}{r_1 r_2}\right). \qquad (2)$$

r_1 et r_2 désignant les demi-diamètres des deux fils d'aller et retour qui constituent la ligne, δ leur distance réciproque supposée uniforme et C la capacité par unité de longueur. Le coefficient k et log ont mêmes significations que dans la formule (1). Par exemple, pour une ligne à deux fils de 4 millimètres de diamètre, posés à $0^m,20$ l'un de l'autre, on trouve :

$$C = \frac{0,2172}{900 \times \log(10.000)} = 60 \times 10^{-6} \text{ farads} = 60^{\varphi},$$

ce qui donne $0^{\varphi},006$ par kilomètre.

Les formules (1) et (2), quoique connues depuis longtemps, ont été très peu utilisées jusqu'ici. Soit à cause de la difficulté relative que présentent les mesures de capacité électrostatique sur les fils aériens, soit à cause du peu d'importance que l'on attribuait à la connaissance exacte de cet élément, aucune Administration télégraphique, que nous sachions, n'a encore prescrit des mesures régulières de capacité sur ses lignes aériennes. Les formules (1) et (2) paraissant n'avoir aucun intérêt pratique, on n'a point cherché à perfectionner davantage la théorie en les complétant par les termes correctifs que doivent introduire l'influence du sol et des fils voisins et diverses autres causes. Cependant les expériences peu nombreuses faites par quelques savants, tout en montrant que la valeur mesurée de la capacité d'une ligne aérienne approche beaucoup de la valeur calculée, ont révélé des écarts qui ne peuvent être attribués entièrement à l'imperfection de ces expériences. Ainsi, d'après les mesures effectuées récemment par M. Massin (*), la capacité d'un fil de 3 millimètres, posé à 4 ou 5 mètres au-dessus du sol,

(*) *Annales télégraphiques*, 1891, p. 343.

serait de $0^{\varphi},009$ à $0^{\varphi},010$ par kilomètre, tandis que la formule (1) ne donne que $0^{\varphi},0065$. De même la capacité kilométrique d'une ligne composée de deux fils de 3 millimètres de diamètre, distants l'un de l'autre de $0^{m},40$, serait de $0^{\varphi},0065$ à $0^{\varphi},0070$, tandis que la formule (2) ne donne que $0^{\varphi},0050$. Les chiffres donnés par M. Preece et par d'autres savants montrent également que la valeur mesurée de la capacité est toujours notablement supérieure à la valeur calculée.

Les écarts constatés entre les chiffres théoriques et les chiffres d'expériences peuvent, à la rigueur, tenir en partie à des erreurs systématiques inhérentes aux méthodes de mesure. Ils peuvent provenir également, dans une faible proportion sans doute, du contact des isolateurs, du voisinage des poteaux ou d'autres objets, peut-être encore d'un accroissement du pouvoir inducteur spécifique de l'air lorsque celui-ci est humide. Ces diverses causes d'erreur paraissent bien difficiles à analyser; elles sont du reste essentiellement variables, et ce sont peut-être elles qui causent les faibles variations apparentes de la capacité des fils. Nous n'examinerons ici que les causes les plus importantes et dont l'influence sur la capacité d'une ligne est permanente, c'est-à-dire la présence du sol et de fils télégraphiques dans le voisinage de la ligne en question.

La formule (1) fait connaître la capacité que posséderait un fil de diamètre $2r$, posé à une hauteur h au-dessus du sol, en supposant qu'il n'y eût pas d'autre fil ni d'autre masse conductrice (même médiocre conductrice) dans le voisinage. La présence d'un deuxième fil posé sur les mêmes poteaux, ou même à quelques mètres de distance, ne peut qu'accroître cette capacité. L'accroissement est encore plus notable s'il y a

plusieurs fils voisins. La correction théorique que nous appliquerons de ce fait à la formule (1) pourra donc rendre celle-ci plus concordante avec l'expérience. Il en est de même de la formule (2), qui représente la capacité d'une ligne constituée par deux fils de diamètres $2r_1$ et $2r_2$, situés à une distance δ l'un de l'autre, en supposant qu'il n'y ait ni le sol, ni d'autres fils ou d'autres masses métalliques dans le voisinage, ce qui est un cas impraticable.

Il est facile de calculer la capacité d'une ligne aérienne en tenant compte à la fois de l'influence du sol et des fils voisins. Nous renvoyons à la fin de cette note la démonstration des formules, dont nous allons faire des applications numériques afin de reconnaître si l'influence en question suffit pour expliquer en grande partie l'écart constaté jusqu'ici entre la théorie et l'expérience.

Applications numériques.

1° Considérons d'abord un fil rectiligne de diamètre $2r_1$ posé à une hauteur h_1 uniforme au-dessus du sol, et un fil parallèle de diamètre $2r_2$ posé à une hauteur h_2 et à une distance δ_{12} du fil précédent. Si l'on prend comme plan de la *fig.* 1 un plan perpendiculaire à la direction commune de ces fils, ce plan coupera le premier fil suivant une section droite circulaire L_1 de rayon r_1, le second suivant une section L_2 de rayon r_2, et la surface du sol suivant une ligne TT (nous supposerons réduites à leurs centres ces sections L_1 et L_2, qui sont très petites). Les distances L_1P_1 et L_2P_2 sont égales à h_1 et h_2 et la distance L_1L_2 est égale à δ_{12}.

La capacité du fil L_1 seul en présence du sol serait

donnée par la formule (1) :

$$\frac{1}{C} = \frac{k}{0,2172} \log\left(\frac{2h_1}{r_1}\right).$$

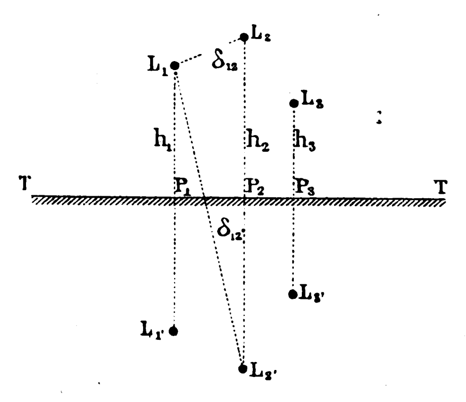


Fig. 1.

Mais à cause de la présence du fil L_2 supposé en communication avec le sol, cette formule devra être remplacée par :

$$\frac{1}{C'} = \frac{k}{0,2172} \log\left(\frac{2h_1}{r_1}\right) \times \left[1 - \frac{\left(\log \frac{\delta_{12'}}{\delta_{12}}\right)^2}{\log\left(\frac{2h_1}{r_1}\right)\log\left(\frac{2h_2}{r_2}\right)}\right]. \quad (3)$$

$\delta_{12'}$ désignant la distance de L_1 au point $L_{2'}$ symétrique de L_2 par rapport au sol ($P_2 L_{2'} = P_2 L_2$). On écrira plus simplement

$$\frac{1}{C'} = \frac{1}{C}(1 - \varepsilon),$$

C désignant la valeur que donnerait la formule (1) et le terme de correction ε étant égal à :

$$\varepsilon = \frac{\left(\log \frac{\delta_{12'}}{\delta_{12}}\right)^2}{\log\left(\frac{2h_1}{r_1}\right)\log\left(\frac{2h_2}{r_2}\right)}.$$

Ainsi pour un fil de 3 millimètres de diamètre, situé à 4 mètres au-dessus du sol, on trouve comme capacité kilométrique : $C \times 10^{-4} = 0^{\varphi},0065$. La présence d'un fil de 3 millimètres, situé également à 4 mètres au-dessus du sol et à $0^{m},40$ du précédent, donne lieu à une correction que l'on calcule ainsi (en remplaçant δ_{12} par $2h_2$, qui en diffère peu) :

$$\varepsilon = \frac{\left(\log \frac{2 \times 4}{0,4}\right)^2}{\log\left(\frac{8.000}{1,5}\right)\log\left(\frac{8.000}{1,5}\right)} = 0,122,$$

d'où :

$$C' \times 10^{-4} = \frac{C' \times 10^{-4}}{1 - \varepsilon} = \frac{0^{\varphi},0065}{0,878} = 0^{\varphi},0074.$$

La capacité kilométrique du fil serait donc $0^{\varphi},0065$ d'après l'ancienne formule, $0^{\varphi},0074$ d'après la formule corrigée en tenant compte de l'influence d'un fil voisin, tandis que la valeur mesurée varie de $0^{\varphi},009$ à $0^{\varphi},010$ (exemple cité plus haut). En tenant compte de la présence de tous les fils voisins, on arriverait peut-être à combler l'écart existant encore entre la nouvelle valeur calculée $0^{\varphi},0074$ et la valeur mesurée (voir plus loin comment on peut traiter le cas de plusieurs fils voisins).

Il semblerait même au premier abord que le voisinage d'un grand nombre de fils pourrait porter la capacité du fil L_1 à un chiffre bien supérieur à la valeur mesurée. Mais il n'en est rien. En effet, si l'on admet que la distance minimum de deux fils télégraphiques soit de $0^{m},40$, l'influence exercée sur la capacité du fil L_1 par l'ensemble des fils posés sur les mêmes poteaux ne peut évidemment dépasser celle que produirait un système de fils jointifs posés à $0^{m},40$ du fil L_1 de manière à former autour de lui une surface continue

cylindrique (il faudrait pour cela 837 fils jointifs de 3^{mm} de diamètre ou 628 fils de 4^{mm}). Or ce système formerait l'armature extérieure d'un condensateur cylindrique de $0^{m},40$ de rayon, dont l'armature intérieure serait le fil L_1. La capacité que posséderait alors le fil L_1, dont le rayon est de $1^{mm},5$ se calculerait, comme celle d'un câble sous-marin, par la formule :

$$C = \frac{0,2172}{k} \frac{1}{\log\left(\frac{0,40}{0,0015}\right)} = 0,000099 \text{ farad},$$

ce qui donnerait seulement $0^{\varphi},0099$ par kilomètre. Or on a vu que la capacité du fil L_1 mesurée sur une ligne télégraphique comprenant d'autres fils varie de $0^{\varphi},009$ à $0^{\varphi},010$.

2° Considérons maintenant une ligne composée des fils L_1 (aller) et L_2 (retour). La capacité de ce circuit, en supposant nulle l'influence du sol et des fils voisins, serait donnée par la formule (2) :

$$\frac{1}{C} = \frac{k}{0,2172} \log\left(\frac{\delta_{12}^2}{r_1 r_2}\right),$$

Si l'on veut tenir compte de l'influence du sol, cette formule doit être remplacée par :

$$\frac{1}{C'} = \frac{k}{0,2172} \log\left(\frac{\delta_{12}^2}{r_1 r_2}\right) \times \left[1 - \frac{\log\left(\frac{\delta_{12'}^2}{4 h_1 h_2}\right)}{\log\left(\frac{\delta_{12}^2}{r_1 r_2}\right)}\right], \quad (4)$$

ou :

$$\frac{1}{C'} = \frac{1}{C}(1 - \varepsilon),$$

en posant :

$$\varepsilon = \frac{\log\left(\frac{\delta_{12'}^2}{4 h_1 h_2}\right)}{\log\left(\frac{\delta_{12}^2}{r_1 r_2}\right)}.$$

Ici ε représente l'erreur relative commise lorsqu'on

néglige l'influence du sol. Pour nous rendre compte de son importance, supposons encore que les deux fils L_1 et L_2 aient 3 millimètres de diamètre, soient posés à la même hauteur h de 4 mètres au-dessus du sol et soient écartés de $0^m,40$ l'un de l'autre. On trouve alors (en remarquant que : $\delta_{12'}^2 = \delta_{12}^2 + 4h^2$) :

$$\varepsilon = \frac{\log(1,0025)}{\log\left(\frac{400}{1,5}\right)^2} = 0,00022.$$

Si au contraire les deux fils étaient posés dans un même plan vertical, l'un à 4 mètres, l'autre à $3^m,60$ au-dessus du sol, leur distance réciproque restant égale à 0^m40, on trouverait (en remarquant que : $\delta_{12'} = h_1 + h_2$) :

$$\varepsilon = \frac{\log\left(\frac{\overline{7,60}^2}{4 \times 4 \times 3,60}\right)}{\log\left(\frac{400}{1,5}\right)^2} = 0,00025.$$

Dans les deux cas l'erreur relative ε est négligeable, et, sans varier davantage les exemples numériques, on reconnaît que l'*influence du sol sur la capacité électrostatique d'un circuit à double fil est négligeable,* au moins tant que la distance réciproque des deux fils ne dépasse pas le dixième ou même le cinquième de leur distance au sol. Il n'y a donc pas lieu de s'en préoccuper.

Nous ferons remarquer en passant que, pour une raison analogue, l'influence du sol sur la self-induction d'un circuit à double fil est négligeable dans les mêmes conditions.

3° Il nous reste à étudier l'influence des fils voisins sur la capacité d'un circuit à double fil. Si un troisième fil L_3 (*fig.* 1) de diamètre $2r_3$ est situé à une hauteur h_3

au-dessus du sol et aux distances respectives δ_{13} et δ_{23} des fils L_1 et L_2 qui constituent le circuit considéré, la capacité de ce circuit sera donnée par la formule (2) :

$$\frac{1}{C} = \frac{k}{0,2172} \log\left(\frac{\delta_{12}^2}{r_1 r_2}\right),$$

ou par la formule corrigée :

$$\left.\begin{aligned} \frac{1}{C'} &= \frac{k}{0,2172}\left\{\log\left(\frac{\delta_{12}^2}{r_1 r_2}\right) - \log\left(\frac{\delta_{12'}^2}{4h_1h_2}\right) - \frac{\left[\log\left(\frac{\delta_{13'}\delta_{23}}{\delta_{13}\delta_{23'}}\right)\right]^2}{\log\left(\frac{2h_3}{r_3}\right)}\right\} \\ &= \frac{1}{C}(1-\varepsilon), \end{aligned}\right\} \quad (5)$$

suivant que l'on négligera l'influence du sol et du fil L_3 ou que l'on en tiendra compte. Les quantités δ_{1} et $\delta_{23'}$ représentent les distances des points L_1 et L au point $L_{3'}$ symétrique de L_3 par rapport au sol $(P_3 L_{3'} = P_3 L_3)$.

L'erreur relative ε commise en négligeant l'influence du sol et du fil L_3 a donc pour expression :

$$\varepsilon = \frac{\log\left(\frac{\delta_{12'}^2}{4h_1h_2}\right)}{\log\left(\frac{\delta_{12}^2}{r_1 r_2}\right)} + \frac{\left[\log\left(\frac{\delta_{13'}\delta_{23}}{\delta_{13}\delta_{23'}}\right)\right]^2}{\log\left(\frac{\delta_{12}^2}{r_1 r_2}\right)\log\left(\frac{2h_3}{r_3}\right)}.$$

Le second membre de cette formule se compose de deux termes, dont le premier, que nous venons d'étudier à la page précédente, représente l'influence du sol tout seul sur le circuit double $L_1 L_2$. Comme nous avons reconnu que ce terme est négligeable, nous écrirons simplement :

$$\varepsilon = \frac{\left[\log\left(\frac{\delta_{13'}\delta_{23}}{\delta_{13}\delta_{23'}}\right)\right]^2}{\log\left(\frac{\delta_{12}^2}{r_1 r_2}\right)\log\left(\frac{2h_3}{r_3}\right)}. \quad (6)$$

Exemple : Supposons les trois fils L_1, L_2 et L_3 posés dans un même plan vertical aux hauteurs respectives

$$h_1 = 4^m, \qquad h_2 = 3^m,60, \quad h_3 = 4^m,40;$$

les diamètres de ces fils étant de 3 millimètres pour L_1 et L_2 et de 4 millimètres pour L_3. On en déduit :

$$\delta_{12} = \delta_{13} = 0^m,40, \quad \delta_{23} = 0^m,80;$$
$$\delta_{13'} = 8^m,40, \quad \delta_{23'} = 8^m;$$

d'où :

$$\varepsilon = \frac{(\log 2,1)^2}{\log\left(\frac{400}{1,5}\right)^2 \log 4.400} = 0,0059.$$

Comme on le voit par ce chiffre, l'influence du fil L_3 sur le circuit à double fil est très faible. Et cependant nous avons supposé L_3 très voisin de L_1. Si le fil L_3 était plus éloigné du circuit, son influence serait moindre. Cette influence serait beaucoup plus faible encore si L_3, au lieu d'être plus près de L_1 que de L_2, était à égale distance de ces deux fils. Il en résulte que l'influence même de plusieurs fils voisins paraîtrait à peine suffisante pour expliquer le tiers de l'écart constaté entre les valeurs calculée et mesurée de la capacité d'un circuit à double fil, au moins tant que la distance des deux conducteurs de ce circuit ne dépasse pas $0^m,40$ à $0^m,50$.

Par contre la capacité d'un circuit à double fil doit être beaucoup plus altérée que celle d'un circuit à simple fil par la proximité de grandes masses médiocres conductrices (murs des maisons, etc.). Peut-être est-ce là la principale cause de l'écart entre l'expérience et la théorie. L'étude minutieuse d'une ou de plusieurs lignes (de moyenne ou de faible longueur) sur tout leur parcours pourrait seule permettre de

résoudre cette question, qui ne manque point d'intérêt au point de vue pratique.

Remarque sur la valeur de la capacité mesurée expérimentalement.

Pour mesurer la capacité électrostatique d'une ligne télégraphique ou téléphonique, on isole le fil à l'une de ses extrémités et on le met, à l'autre extrémité, en communication avec une pile ou une source électrique quelconque dont on connaît la force électromotrice E; puis on mesure, par exemple au moyen d'un galvanomètre, la charge électrique Q prise par la ligne. La capacité C se calcule par la formule :

$$C = \frac{Q}{E}.$$

On suppose ainsi implicitement que E représente la différence de potentiel existant entre le fil électrisé et l'ensemble des conducteurs voisins : sol, fils télégraphiques, etc., qui sont censés être au potentiel zéro. Or, la charge Q du fil induit sur ces conducteurs une charge totale — Q égale et de signe contraire, et une quantité Q d'électricité, de même signe que celle du fil, est refoulée dans la masse terrestre. L'écoulement de cette quantité Q d'électricité le long des fils voisins et à travers le sol n'exige en général qu'un temps fort court, de telle sorte que la durée de l'observation du galvanomètre peut être plus que suffisante pour que le sol et les autres conducteurs voisins du fil reviennent à l'équilibre et au potentiel zéro. L'emploi de la formule ci-dessus est donc parfaitement justifié.

Mais la capacité C ainsi mesurée est-elle bien la même que celle qui intervient dans le phénomène de la

propagation de courants d'intensité rapidement variable? Si la durée d'un signal télégraphique n'est que de 1/50e de seconde, l'électricité refoulée sur les conducteurs voisins du fil de transmission a-t-elle le temps de s'écouler complètement comme dans le cas précédent? Dans le cas de la téléphonie où les variations de courant ont des périodes si courtes, cet écoulement paraît devoir être bien incomplet, surtout si le sol est très mauvais conducteur et si les fils voisins ont un excellent isolement s'opposant à la déperdition rapide de leur charge. La présence de ces fils renforcerait alors la capacité du fil de transmission plus que s'ils étaient parfaitement isolés, mais moins que s'ils étaient en parfaite communication avec le sol. La conclusion de ce raisonnement est que la capacité d'un fil télégraphique dans la propagation de courants rapidement variables peut être un peu plus faible que celle que l'on mesure par les méthodes ordinaires. Le chiffre que donne l'expérience semble donc être une valeur maximum de cette capacité.

Comparaison des circuits à double fil aux circuits à simple fil.

Lorsqu'un circuit télégraphique ou téléphonique est constitué par un fil d'aller et un fil de retour sans prise de terre, on l'assimile souvent à un circuit à simple fil par la règle suivante, qui n'est nullement justifiée et peut conduire à un résultat très inexact :

« Un circuit à fil double AEBB'RA'A (*fig.*2) se comporte comme un circuit à fil simple : 1° dont la résistance serait égale à la somme des résistances des fils AA' et BB', de la pile E et des appareils de réception ou autres embrochés sur la ligne ; 2° dont la capacité

C serait égale à celle d'une batterie de deux condensateurs en cascade ayant respectivement pour capacités

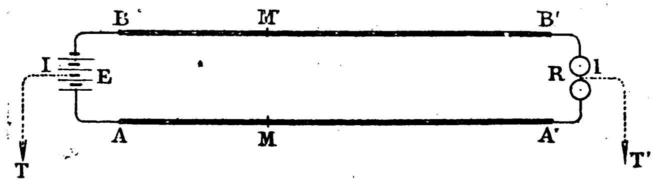


Fig. 2.

C_1 et C_2 celles que possèdent les fils AA' et BB' :

$$\frac{1}{C} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2}.$$

3° sur lequel on emploierait la même pile E. »

Lorsque les deux fils AA' et BB' du circuit sont inégaux et ont des parcours différents, il paraît assez difficile de rendre compte simplement de la manière dont le courant s'y propage dans l'état variable. Mais lorsque les fils AA' et BB' sont identiques, on peut s'en rendre compte facilement. Nous examinerons les deux cas suivants :

1er *Cas.* — Les fils AA' et BB' suivent des parcours *distincts*, ont même résistance r, même capacité c, même longueur et sont constitués de la même manière au point de vue de la pose des fils (aériens ou souterrains) et du voisinage d'autres conducteurs. Alors, par raison de symétrie, pendant la propagation du courant, les potentiels V et V' en deux points M et M' situés à égale distance d'une extrémité du circuit sont à chaque instant égaux et de signes contraires ; et le potentiel doit être nul au milieu I de la pile E et au milieu I' du récepteur R. On peut donc, sans troubler le régime du courant, mettre le point I en communication avec le sol T et le point I' en communication avec

le sol T′ (communications figurées en pointillé); nous faisons abstraction, bien entendu, des courants telluriques et d'autres perturbations analogues. Ces deux communications étant établies, on voit que l'on peut encore, sans changer le régime du courant sur aucun des fils AA′ et BB′, dédoubler le circuit primitif en deux autres : l'un d'eux comprenant un fil de terre allant du sol T au milieu I de la pile, la moitié de la pile E située du côté AA′, puis ce fil AA′, la moitié du récepteur jusqu'en I′ et enfin un fil de terre allant de I′ en T′; l'autre circuit allant d'une manière analogue de T en T′ par le fil BB′ (Pour la réalisation pratique de ce dédoublement du circuit, il faudrait avoir un manipulateur sur chacune des deux branches; mais cela ne modifie pas notre raisonnement).

On voit finalement que l'intensité du courant à l'arrivée au poste R, lorsqu'on emploie le circuit double, suit exactement le même régime que si l'on employait un circuit simple comprenant la moitié de la pile E (force électromotrice et résistance réduites de moitié), le fil AA′ et la moitié du récepteur R (résistance réduite de moitié, mais l'effet du courant s'exerçant dans les deux bobines à la fois). Si l'on ne considère que le *retard* produit par la ligne sur les signaux, ce retard est le même pour le circuit double que pour le circuit simple ayant une résistance r et ayant une capacité c. On peut encore dire que ce circuit simple a une capacité égale au double de la capacité $\frac{c}{2}$ du condensateur qui aurait pour armatures les fils AA′ et BB′ (avec le sol pour armature intermédiaire).

2e *cas.* — Les fils AA′ et BB′ suivent le même parcours et sont posés soit sur les mêmes poteaux, soit

dans une même canalisation souterraine, etc., de manière à s'influencer réciproquement. Le raisonnement appliqué au cas précédent peut être répété ici presque entièrement. On peut, sans troubler le régime du courant sur le circuit, relier au sol les milieux I et I′ (*fig.* 2) de la pile et du récepteur, qui, par raison de symétrie, restent au potentiel zéro. On peut même dédoubler le circuit en deux autres : l'un comprenant le fil AA′, la moitié de la pile E et du récepteur R et des prises de terre en T et T′; l'autre comprenant le fil BB′, l'autre moitié de la pile et du récepteur et des prises de terre. Si l'on imagine sur ces deux circuits simples des manipulateurs fonctionnant synchroniquement, le fonctionnement du récepteur sera exactement le même que si l'on avait laissé intact le circuit primitif à fil double sans prises de terre.

Le circuit à fil double, dans ce cas, se comporte donc, au point de vue du régime du courant, comme le circuit à fil simple AA′ avec la pile E réduite de moitié et la moitié du récepteur R. Toutefois, il y a lieu d'ajouter une restriction. Nous avons supposé que les deux circuits AA′ et BB′ fonctionnent synchroniquement. Or, si le circuit AA′ vient à fonctionner seul, le régime du courant y sera altéré, parce que l'influence qu'exerçait sur lui le circuit BB′ disparaît. Mais cette influence du fil BB′ peut être remplacée par une autre équivalente. En effet, lorsque les fils AA′ et BB′ fonctionnent synchroniquement, les potentiels en deux points correspondants M et M′ (*fig.* 2) sont constamment égaux et de signes contraires. Dans le milieu diélectrique (air, etc.) qui entoure ces fils, le potentiel varie d'un point à un autre; la région des points où le potentiel est positif est séparée de la région où le po-

tentiel est négatif par une surface S, en tous les points de laquelle le potentiel est nul. Si, par exemple, les fils AA′ et BB′ sont aériens et que leur distance réciproque soit faible par rapport à leur distance aux masses conductrices voisines, la surface S en question sera le plan P par rapport auquel les fils AA′ et BB′ occupent des positions symétriques (plan perpendiculaire au plan des des deux fils et situé à égale distance de chacun d'eux). La surface S divisant l'espace en deux régions, l'une du côté du fil AA′, l'autre du côté de BB′, imaginons cette dernière région remplie d'une matière conductrice (le sol, par exemple). La présence de cette matière aurait pour effet de rendre le potentiel nul sur toute sa surface S pendant le passage du courant sur le fil AA′, c'est-à-dire qu'elle produirait le même effet que l'existence du courant synchronique sur le fil BB′. On en conclut que le circuit double (AA′, BB′) se comporte comme le ferait le fil simple AA′, si celui-ci était en présence d'un conducteur indéfini limité à la surface S. La présence de ce conducteur ne modifierait point la résistance du fil AA′, mais elle accroîtrait sa capacité électrostatique. Dans le cas d'une ligne aérienne, la surface S étant, comme nous l'avons dit, le plan de symétrie P, la capacité C du fil AA′ ainsi modifiée serait égale au double de la capacité du condensateur ayant pour armatures les fils AA′ et BB′.

En résumé on peut appliquer aux deux cas que nous venons d'examiner une règle commune : *Lorsqu'un circuit est constitué par un fil d'aller et un fil de retour*, qui suivent ou non le même parcours aérien, souterrain ou mixte, mais *qui sont dans des conditions identiques* (comme longueur, résistance, capacité, voisinage de masses conductrices, etc.), *le régime du*

courant y est le même qu'il serait sur un circuit constitué par l'un seul des deux fils, si celui-ci possédait une capacité électrostatique égale au double de la capacité du condensateur ayant pour armatures les deux fils. On doit ajouter à cet énoncé les conditions que nous avons indiquées au sujet de la force électromotrice et des appareils transmetteur et récepteur. Le rôle de la self-induction n'a pas été examiné dans cette étude.

Démonstration des formules.

Considérons trois fils rectilignes et parallèles L_1, L_2, L_3 de diamètres $2r_1$, $2r_2$, $2r_3$, posés à des hauteurs h_1, h_2, h_3 au-dessus de la surface TT du sol (*fig.* 1). Supposons-les recouverts de charges électriques uniformes en équilibre, égales respectivement à q_1, q_2 et q_3 par unité de longueur; soient V_1, V_2 et V_3 leurs potentiels. Le potentiel est nul en tous les points de la surface du sol TT, et il varie aux divers points de l'espace (champ électrique) qui entoure les trois fils.

Si le sol au-dessous de la surface TT n'existait pas, et qu'il y eût par contre, en regard des fils L_1, L_2 et L_3, trois autres fils $L_{1'}$, $L_{2'}$ et $L_{3'}$ de mêmes diamètres respectifs $2r_1$ $2r_2$ et $2r_3$, chargés des mêmes quantités d'électricité de signe contraire $-q_1$, $-q_2$ et $-q_3$ par unité de longueur, et occupant les positions symétriques de L_1, L_2 et L_3 par rapport au plan TT, — il est évident, par raison de symétrie : 1° que les potentiels de ces trois nouveaux fils seraient $-V_1$, $-V_2$ et $-V_3$; 2° que le plan de symétrie TT serait au potentiel zéro, comme dans le cas où le sol existe; 3° que par conséquent (en vertu d'un principe bien connu) les potentiels aux divers points du champ électrique situé au-dessus du

plan TT ne seraient pas modifiés par la substitution des fils $L_{1'}$, $L_{2'}$ et $L_{3'}$ à la présence du sol. Dans nos calculs, nous trouverons avantage à faire abstraction du sol et à le remplacer par les fils imaginaires symétriques de ceux qui existent réellement.

Nous nous appuierons sur la formule suivante, qui est démontrée dans les traités d'électricité. Si deux fils cylindriques parallèles et indéfinis L et L′ ont des charges électriques uniformes égales à $+q$ et à $-q$ par unité de longueur, le potentiel V développé par ces charges en un point de l'espace dont les distances aux axes des deux fils sont respectivement δ_1 et δ_2, est donné par la formule :

$$V = \frac{k}{0{,}2172}\, q \log\left(\frac{\delta_2}{\delta_1}\right), \qquad (7)$$

le coefficient k ayant pour valeur numérique 1 dans le système électrostatique et 900 dans le système pratique d'unités, *log* étant le symbole des logarithmes vulgaires. Dans cette formule comme dans les applications que nous en ferons, on suppose les diamètres des fils très faibles par rapport à leurs distances réciproques.

Si les deux fils L et L′ que nous venons de considérer sont les fils L_1 et $L_{1'}$ de la figure 1, le potentiel v_1 en un point de la surface de L_1 sera, d'après la formule (7), en remarquant que l'on a : $\delta_1 = r_1$ et $\delta_2 = 2h_1$

$$v_1 = \frac{k}{0{,}2172}\, q_1 \log\left(\frac{2h_1}{r_1}\right).$$

Le rapport $\frac{q_1}{v_1} = C_1$ qui résulte de là représenterait donc la capacité du fil L_1 en présence du sol si les fils L_2 et L_3 n'existaient pas :

$$\frac{1}{C_1} = \frac{k}{0{,}2172} \log\left(\frac{2h_1}{r_1}\right). \qquad (8)$$

Mais le potentiel v_1 à la surface du fil L_1 doit être accru de la valeur v_2 du potentiel qu'y développent les fils L_2 et $L_{2'}$ et de la valeur v_3 du potentiel qu'y développent les fils L_3 et $L_{3'}$.

En remplaçant δ_1 et δ_2 par les distances δ_{12} et $\delta_{12'}$ du fil L_1 aux fils L_2 et $L_{2'}$, la formule (7) donne :

$$v_2 = \frac{k}{0,2172} q_2 \log\left(\frac{\delta_{12'}}{\delta_{12}}\right).$$

De même :

$$v_3 = \frac{k}{0,2172} q_3 \log\left(\frac{\delta_{13}'}{\delta_{13}}\right).$$

Le potentiel résultant V_1 à la surface du fil L_1 sera égal à $v_1 + v_2 + v_3$. On calculerait de même les potentiels V_2 et V_3 des fils L_2 et L_3; de telle sorte que, en remplaçant les distances $\delta_{21'}$, $\delta_{31'}$,... par les distances égales $\delta_{12'}$, $\delta_{13'}$... on trouve les relations :

$$\left.\begin{aligned} V_1 &= \frac{k}{0,2172}\left[q_1 \log \frac{2h_1}{r_1} + q_2 \log \frac{\delta_{12'}}{\delta_{12}} + q_3 \log \frac{\delta_{13'}}{\delta_{13}}\right], \\ V_2 &= \frac{k}{0,2172}\left[q_1 \log \frac{\delta_{12}'}{\delta_{12}} + q_2 \log \frac{2h_2}{r_2} + q_3 \log \frac{\delta_{23'}}{\delta_{23}}\right], \\ V_3 &= \frac{k}{0,2172}\left[q_1 \log \frac{\delta_{13'}}{\delta_{13}} + q_2 \log \frac{\delta_{23'}}{\delta_{23}} + q_3 \log \frac{2h_3}{r_3}\right]. \end{aligned}\right\} \quad (9)$$

De ces relations nous allons déduire plusieurs formules importantes.

1° Comment la capacité C_1 du fil L_1 en présence du sol est-elle modifiée par la présence d'un seul fil voisin L_2? Le fil L_3 n'intervenant pas, on se bornera aux deux premières équations (9) en y faisant $q_3 = 0$. En outre, si le fil L_2 est supposé en communication avec le sol, on y fera $V_2 = o$, et l'élimination de q_2 entre ces deux équations donnera :

$$\frac{V_1}{q_1} = \frac{1}{C_1'} = \frac{k}{0,2172}\left[\log \frac{2h_1}{r_1} - \frac{\left(\log \frac{\delta_{12'}}{\delta_{12}}\right)^2}{\log \frac{2h_2}{r_2}}\right]. \quad (10)$$

Ce n'est autre chose que la formule (3), dont nous avons fait des applications numériques.

Si le fil L_2 au contraire était parfaitement isolé, la charge totale q_2 qu'il prendrait sous l'influence du fil électrisé L_1 serait nulle, et la première des équations (9) donnerait immédiatement comme valeur de la capacité $\frac{q_1}{V_1}$ la valeur C_1 de la formule (8). La capacité du fil L_1 ne serait donc pas modifiée par la présence du fil L_2, ou plutôt elle ne serait pas sensiblement modifiée ; car en réalité les formules (9) sont approchées et non rigoureuses, puisqu'on néglige le rayon d'un fil par rapport à sa distance aux autres fils.

2° Comment la capacité C_1 du fil L_1 en présence du sol est-elle modifiée par la présence des fils $L_2, L_3 \ldots$? Si les fils $L_2, L_3 \ldots$ sont parfaitement isolés, on devra poser $q_2 = q_3 \ldots = 0$, et la première des équations (9) donnera encore pour la capacité cherchée la valeur C_1 de la formule (8). Si au contraire les fils L_2, L_3 sont en communication avec le sol, on fera $V_2 = V_3 = 0$, et l'élimination de q_2 et q_3 entre les équations (9) donnera la valeur de la capacité $\frac{q_1}{V_1}$. Cette élimination ne présente aucune difficulté, puisque les équations (9) sont du premier degré.

La généralisation des formules (9) dans le cas où l'on a d'autres fils $L_4, L_5 \ldots$ est évidente, et nous ne développerons pas les calculs davantage.

3° Les fils L_1 et L_2 formant les deux armatures d'un condensateur, quelle est la capacité de ce condensateur (capacité relative des deux fils) en présence du sol ? On devra faire $q_2 = -q_1$ dans les formules (9) et, en outre $q_3 = 0$ si le fil L_3 n'existe pas. Alors la capacité C'

demandée est représentée par le rapport de q_1 à $(V_1 - V_2)$, soit :

$$\left.\begin{aligned}\frac{1}{C'} = \frac{V_1 - V_2}{q_1} &= \frac{k}{0{,}2172}\left[\log\left(\frac{2h_1}{r_1}\right) - 2\log\left(\frac{\delta_{12'}}{\delta_{12}}\right) + \log\left(\frac{2h_2}{r_2}\right)\right] \\ &= \frac{k}{0{,}2172}\left[\log\left(\frac{\delta_{12}^2}{r_1 r_2}\right) - \log\left(\frac{\delta_{12'}^2}{4h_1 h_2}\right)\right].\end{aligned}\right\} \quad (11)$$

Ce n'est autre chose que la formule (4). Pour négliger l'influence du sol, en n'a qu'à supposer h_1 et h_2 infinis, et le rapport $\frac{\delta_{12'}^2}{4h_1 h_2}$ égal à 1, ce qui donne la formule connue :

$$\frac{1}{C} = \frac{k}{0{,}2172}\log\left(\frac{\delta_{12}^2}{r_1 r_2}\right).$$

4° Pour tenir compte de l'influence exercée sur la capacité relative des fils, L_1 et L_2 (considérés comme armatures d'un même condensateur) par la présence simultanée du sol et d'un fil voisin L_3 supposé en communication avec le sol, on n'a qu'à faire : $q_2 = -q_1$ et $V_3 = 0$ dans les formules (9). On tire alors de celles-ci la valeur de la capacité cherchée C' :

$$\frac{1}{C'} = \frac{V_1 - V_2}{q_1} = \frac{k}{0{,}2172}\left[\log\left(\frac{\delta_{12}^2}{r_1 r_2}\right) - \log\left(\frac{\delta_{12'}^2}{4h_1 h_2}\right) - \frac{\left(\log\frac{\delta_{13'}\delta_{23}}{\delta_{13}\delta_{23'}}\right)^2}{\log\frac{2h_3}{r_3}}\right]. \quad (12)$$

C'est la formule (5). La généralisation de ces résultats ne présente aucune difficulté, et l'on pourra traiter le cas d'un circuit à simple ou double fil en présence du sol et d'un nombre quelconque de fils dont les positions sont exactement connues.

VASCHY.

VARIANTE

AU

DISPOSITIF DU PONT DE WHEATSTONE

Les laboratoires étant assez souvent dépourvus de ponts à fil divisé, M. R. A. Lehfeldt, de Sheffield, a signalé dans le *Philosophical Magazine* (*), l'usage qu'on pouvait faire des caisses de résistance ordinaires pour comparer deux résistances *a* et *b* presque égales.

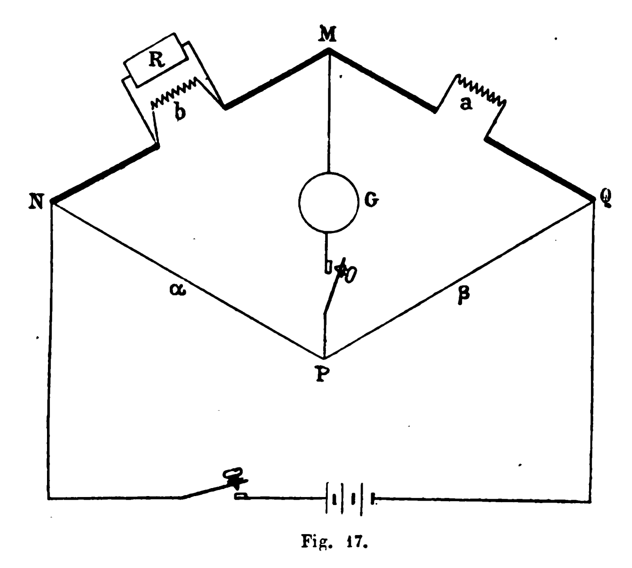


Fig. 17.

Soient (*fig.* 1) :

a et *b* les deux résistances en question, *b* étant > *a*;

(*) 5e série, vol. XXXII, 1891, p. 60.

α et β les deux branches de proportion, placées à demeure et aussi égales que possible;

R une caisse de résistance en dérivation sur b;

R' la valeur qu'il y faut donner pour obtenir l'équilibre quand le groupe Rb est dans la branche MN du pont;

R'' la valeur correspondante quand on a interverti les positions de a et du groupe Rb;

a_1 et b_1 les résistances très faibles des communications (barres de cuivre et godets de mercure) des branches MQ et MN.

Nous pouvons poser :

$$\beta = \alpha(1+\delta), \tag{1}$$
$$b_1 = a_1(1+\delta_1). \tag{2}$$

δ et $a_1\delta_1$ étant des fractions très petites de l'unité et dont les carrés ou produits sont négligeables vis-à-vis de quantités d'ordre moins élevé.

Posons en outre, pour abréger :

$$b' = \frac{b\mathrm{R}'}{b+\mathrm{R}'},$$
$$b'' = \frac{b\mathrm{R}''}{b+\mathrm{R}''}.$$

Les équations d'équilibre du pont donnent :

$$(b'+b_1)\beta = (a+a_1)\alpha, \tag{3}$$
$$(b''+a_1)\alpha = (a+b_1)\beta, \tag{4}$$

d'où l'on tire, en tenant compte de (1) et (2) les deux valeurs de a :

$$a = b' + \delta(b'+b_1) + a_1\delta_1, \tag{3'}$$

et

$$a = \frac{b''+a_1-b_1(1+\delta)}{1+\delta}$$

$$= (b''+a_1)(1-\delta) - b_1 \quad \left\{\begin{array}{l}\text{en multipliant haut et bas par} \\ 1-\delta \text{ et négligeant } \delta^2 \text{ vis-à-vis} \\ \text{de l'unité.}\end{array}\right.$$

$$= b'' - \delta(b''+a_1) - a_1\delta_1. \tag{4'}$$

En additionnant (3') et (4') on trouve :

$$2a = b' + b'' + \delta(b' + b_1 - b'' - a_1),$$

ou, en désignant par η le facteur entre parenthèses,

$$a = \frac{1}{2}(b' + b'' + \delta\eta).$$

Or, en faisant la différence (3')—(4'), on a

$$\eta = -a_1\delta_1 - \delta\eta_1,$$

η_1 représentant la quantité $b' + b_1 + b'' + a_1$.

Il en résulte que le produit $\eta\delta$ est négligeable devant $b' + b''$ et qu'on obtient en définitive, pour la valeur cherchée a,

$$a = \frac{b' + b''}{2}.$$

En outre, dans les cas où l'on sait *a priori* a_1 et b_1 assez faibles pour qu'on en néglige le produit par δ, la différence (3')—(4') fournit la valeur de δ.

$$\delta = \frac{b'' - b'}{b'' + b'}.$$

Pour faciliter les opérations de commutation relatives à la méthode ci-dessus, M. R. A. Lehfeldt propose une planchette représentée en plan *fig.* 2 :

$\alpha\beta$ branches de proportion.
P point de concours de ces deux branches et borne d'attache du galvanomètre;
G autre borne d'attache du galvanomètre;
H, M bornes d'attache pour la caisse de résistance;
N, Q bornes d'attache des fils de pile sur les barres de cuivre 3N3' et 4Q4';
1, 1', 2, 2', 3, 3', 4, 4', godets à mercure.

Les bobines à comparer sont placées entre 1 et 2,

1′ et 2′. Suivant que l'une ou l'autre est la plus forte, on enfonce une fiche à droite ou à gauche dans le

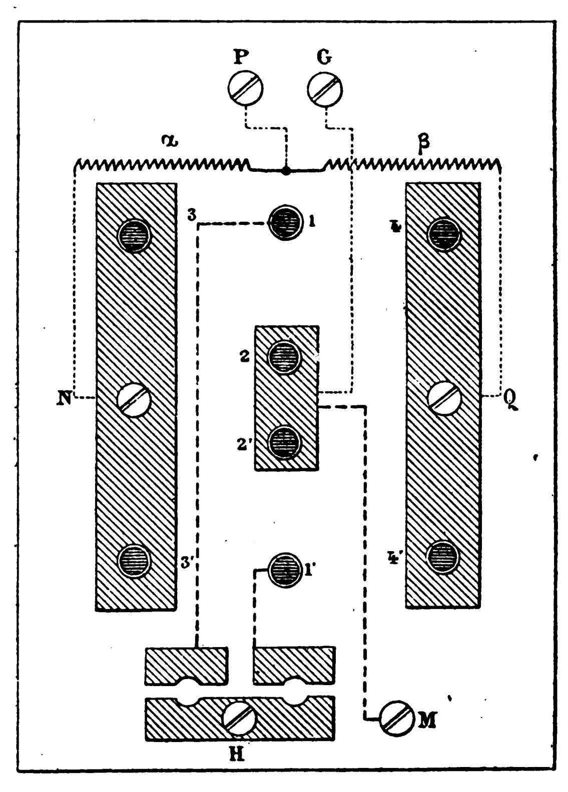


Fig. 2.

commutateur sur lequel est la borne H et l'on établit alors par des tiges de cuivre la communication soit entre 1 et 3, 1′ et 4′, soit entre 1 et 4, 1′ et 3′.

G. DE LA TOUANNE.

SUR UNE MÉTHODE

DE

DÉTERMINATION DES ONDES ÉLECTRIQUES

C'est un fait d'expérience que l'on ne peut indéfiniment augmenter la vitesse de la manipulation sur un conducteur électrique. Quelle est donc la limite qu'il convient de ne pas dépasser?

La question peut se traiter par le calcul dans un certain nombre ds cas, mais ce même calcul devient impuissant à la résoudre dès que les circuits électriques sont un peu complexes.

Il convenait donc de recourir à l'expérience. M. Franck a présenté à la Société des électriciens allemands l'exposé et les résultats des recherches qu'il a entreprises dans cet ordre d'idées.

L'auteur, dont le mémoire a été reproduit par l'*Elektrotechnische Zeitschrift*, s'est proposé de rechercher les courbes en forme d'ondes, que l'on obtient en représentant, dans un système de coordonnées rectangulaires, les variations d'intensité, par rapport au temps, du courant produit dans un conducteur. Il a cherché à éviter les erreurs et, en particulier, les retards dûs aux phénomènes de magnétisme et d'inertie mécanique, et a écarté dès lors tout enregistrement direct.

A cet effet, il emploie un procédé bien connu. On

intercale dans le circuit une résistance sans self-induction ni capacité, et la différence de potentiel aux deux extrémités de cette résistance, mesurée à un moment donné avec l'électromètre, ou au moyen d'un condensateur, déchargé ensuite dans un galvanomètre, permet de déduire la valeur de l'intensité qui traversait le circuit à ce moment précis.

L'appareil dont s'est servi M. Franck, et qui a été construit à Berlin chez M. Heele sur les indications de MM. Grawinkel et Strecker, permet de reproduire des ouvertures et des fermetures de circuit à des intervalles variables à volonté et facilement mesurables, de mesurer, à des moments précis et bien déterminés à partir de la fermeture ou de l'ouverture du circuit, la différence de potentiel entre deux points donnés, et de faire ainsi par points successifs une étude suivie et régulière de l'onde du courant dans le circuit examiné.

L'appareil se compose essentiellement d'un axe por-

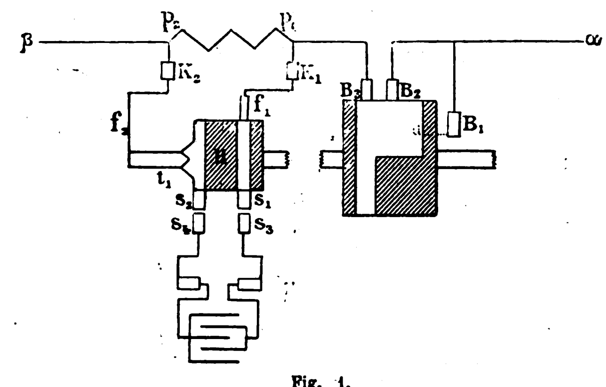


Fig. 1.

tant deux dispositifs : à gauche, le dispositif permettant de prendre la différence de potentiel entre deux

points donnés; à droite, le dispositif ouvrant et fermant automatiquement le circuit à des intervalles facilement mesurables.

$p_1 p_2$ sont les deux extrémités de la résistance intercalée dans le circuit $\alpha\beta$. Les bornes $K_1 K_2$, auxquelles elles sont reliées, sont en communication, au moyen des ressorts f_1 et f_2, avec les contacts en forme de cames S_1 et S_2 mobiles sur des cercles métalliques divisés qui sont placés sur le cylindre d'ébonite H; S_3 et S_4 sont des contacts fixes reliés aux armatures des condensateurs.

Les choses ne sont pas en réalité disposées ainsi, mais la disposition adoptée revient au même, et celle-ci permet de recourir à une figure schématique beaucoup plus simple.

Suivant la position des contacts mobiles sur les cercles divisés, ils viendront heurter les contacts fixes à des moments différents de la révolution de l'axe.

Supposons, pour fixer les idées, que le dispositif de fermeture de circuit soit réglé de telle façon que le circuit soit fermé au moment précis où le zéro de la graduation des cercles divisés est en face des contacts fixes, et que l'on place les contacts mobiles à la division n; N étant le nombre total des divisions des cercles et t la durée de la révolution de l'axe, la différence de potentiel entre p_1 et p_2 sera donc prise à un temps $\frac{tn}{N}$ après la fermeture du circuit.

En raison de la vitesse donnée à l'axe, p_1 et p_2 ne sont mis en relation avec le condensateur que pendant $\frac{1}{10000}$ de seconde environ, temps insuffisant pour charger complètement le condensateur; on a recours alors

à l'artifice de la répétition; on laisse l'axe faire un certain nombre de révolutions; le dispositif d'envoi de courant est réglé de façon que, dès que p_1 et p_2 ont été mis en relation avec le condensateur, la ligne soit mise à la terre, de façon qu'une fois la révolution achevée le nouveau courant émis trouve encore une ligne à l'état neutre et produise une onde identique à la première; les contacts avec le condensateur ont lieu après un même intervalle de temps à partir de la fermeture du circuit, fournissant par conséquent une deuxième charge identique à la première, et ces contacts successifs finissent par envoyer dans le condensateur une charge suffisante.

Au lieu d'un condensateur, on peut se servir d'un électromètre.

L'élongation produite par la décharge du condensateur dans le galvanomètre est proportionnelle à la différence de potentiel entre p_1 et p_2, et donne l'ordonnée du point cherché. Quant à son abscisse, elle est proportionnelle au temps écoulé depuis la fermeture du circuit, c'est-à-dire à n.

En plaçant successivement aux points n', n'', etc., des cercles divisés, les contacts mobiles, et en répétant la manœuvre indiquée, on obtient donc une série de points de la courbe de l'intensité du courant en fonction du temps écoulé depuis la fermeture du circuit.

A droite de l'axe est placé le dispositif ouvrant et fermant le circuit (*fig.* 1). Un cylindre d'ébonite, recouvert en partie de laiton, et sur lequel viennent frotter trois ressorts, deux fixes, B_2 et B_3, et un troisième B_1 mobile. Lorsque B_1 et B_2 sont placés en dérivation, on voit que le circuit est ouvert quand B_1 et B_2 sont sur

ébonite, et fermé quand l'un des deux ou tous les deux sont sur laiton, suivant donc que B_1 est placé contre B_2 ou à 180 degrés; le circuit est fermé pendant une demi-révolution de l'axe ou pendant toute la révolution.

En n'utilisant, au contraire, que B_1 et B_3, le courant arrivant par B_1 et sortant par B_2, le circuit est toujours ouvert ou au contraire, fermé pendant une demi-révolution, suivant que B_1 est à 180 degrés ou contre B_2.

Dans le deuxième cas, on produit donc des courants d'une durée inférieure et dans le premier, des courants d'une durée supérieure à celle d'une demi-révolution.

Un quatrième ressort met la ligne à la terre dès que la communication avec le condensateur a eu lieu. Ce dispositif varie d'ailleurs suivant les besoins. Ainsi, pour étudier l'onde formée par un signal télégraphique, *f*, par exemple on prend un interrupteur automatique constitué comme l'indique la *fig.* 2.

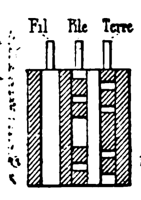


Fig. 2.

Un appareil spécial permet de mesurer la vitesse de rotation. Il se compose d'une vis sans fin, d'une roue de 100 dents et d'un enregistreur. L'examen comparatif de l'enregistreur et d'un chronomètre donne la vitesse de rotation.

Le moteur est un moteur électrique de Siemens.

L'appareil peut tourner avec une vitesse de 30 à 40 tours à la seconde. Les expériences ont été généralement faites en réalisant une vitesse de 20 tours.

On voit donc que la construction des courbes d'onde est des plus simples. Pour chaque point, l'ordonnée est la différence de potentiel entre p_1 et p_2, et est don-

née par l'élongation dans le galvanomètre. L'abscisse est le temps écoulé entre le moment où les balais B ferment ou ouvrent le circuit et celui ou p_1 et p_2 sont reliés au condensateur, et sa valeur s'obtient par une simple lecture sur les cercles divisés.

M. Franck a d'abord recherché l'onde produite en un point fixe dans divers circuits par une émission ou une cessation de courant.

Chacun des points des courbes figuratives ci-après correspond à une position déterminée des contacts mobiles sur les cercles divisés dont nous avons parlé.

Le journal *la Lumière électrique* ayant rendu compte du mémoire de M. Franck, nous lui emprunterons dans ce qui suit quelques parties de son exposé.

La *fig.* 3 montre la disposition du circuit dans lequel on a intercalé une résistance totale de 8.550 ohms, et

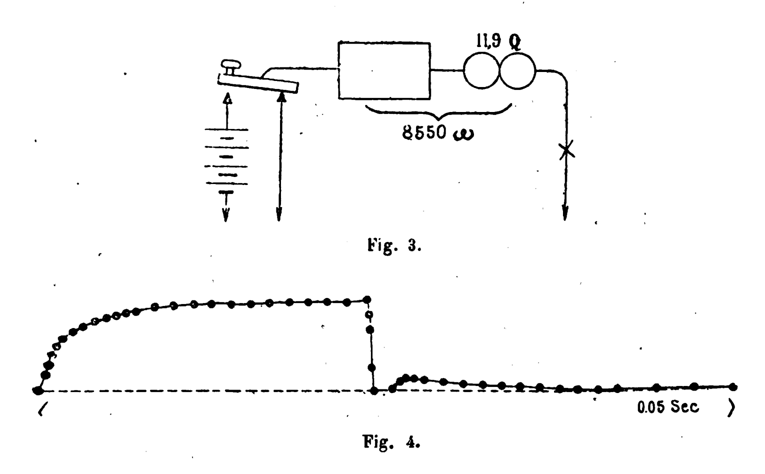


Fig. 3.

Fig. 4.

une self-induction de 11,9 quadrants. La *fig.* 4 montre la courbe que l'on obtient lorsqu'on met ce circuit en relation avec la pile de charge et lorsqu'on rompt le

circuit. Le temps indiqué entre les flèches est la durée totale du phénomène. La courbe d'établissement du courant doit être une exponentielle, l'exposant étant le rapport de la résistance au coefficient de self-induction.

La courbe obtenue s'écarte un peu de la courbe théorique; elle monte plus rapidement, s'infléchit plus fortement et s'approche de la valeur finale plus lentement que ne l'indiquerait la théorie. Lorsqu'on interrompt le courant, la valeur tombe à zéro en 0,0004 seconde. C'est le temps que met l'électricité accumulée dans les bobines à s'écouler vers le sol. On a fermé le conducteur à travers le contact de repos et sans pile 0,005 de seconde plus tard; le courant monte d'abord très peu et tombe lentement à zéro. Ce courant ne peut provenir que de l'induction de l'électro-aimant, ce qui indique que le magnétisme ne s'évanouit pas en même temps que le courant, mais arrive bien plus lentement à une valeur nulle; ce phénomène est sans doute provoqué par des courants ondulatoires, ce qui explique en même temps pourquoi la courbe exponentielle ne coïncide pas avec celle que donne le calcul.

Les *fig.* 5 et 6 se rapportent au cas où on a intercalé une résistance et une capacité sans self-induction. Le conducteur est formé par deux rhéostats dont les résistances sont respectivement 1.710 et 6.840 ohms, la capacité étant d'un microfarad, placé entre ces deux rhéostats.

La courbe I montre la variation du courant au point I; c'est une exponentielle comme dans le cas précédent, l'exposant étant ici le rapport de la résistance à la capacité. Cette courbe coïncide exactement avec la courbe théorique. Lorsqu'il n'y a pas de capacité, le

courant est partout le même sur le conducteur, tandis qu'ici il y a une différence entre l'intensité du courant en arrière et en avant du condensateur (*fig.* 5).

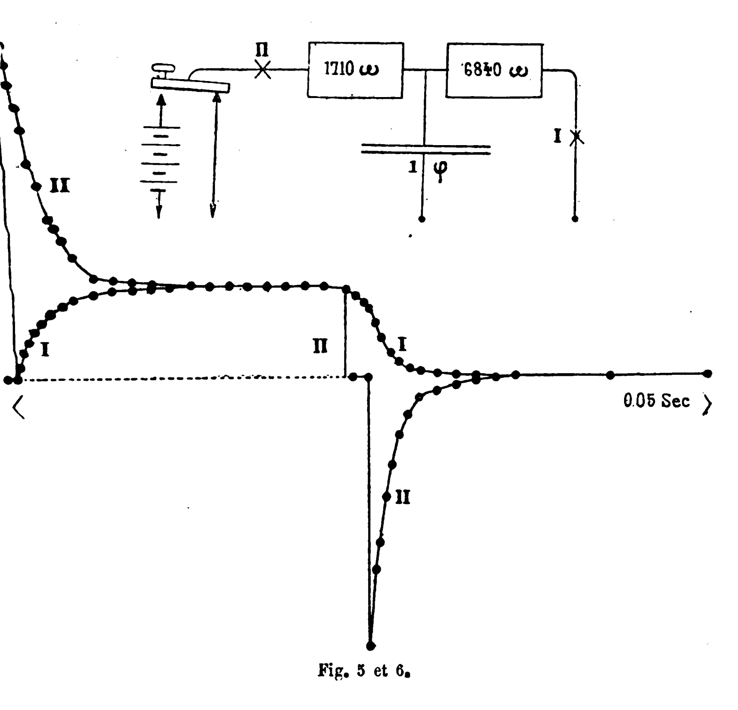


Fig. 5 et 6.

La courbe II se rapporte aux variations d'intensité au point II. Au premier instant le condensateur absorbe une quantité appréciable d'électricité, et le potentiel tombe à zéro. La valeur initiale du courant avant le condensateur ne dépend que de la résistance qui se trouve avant; elle est plus intense que le courant stationnaire. On obtient ainsi le premier point donné par l'expérience; sur la courbe II, le courant tombe d'après une exponentielle et atteint sa valeur station-

naire en même temps que le courant de l'autre côté du condensateur.

Après l'interruption, le courant tombe naturellement à zéro à l'endroit de la rupture, tandis que de l'autre côté du condensateur, en I, le courant de décharge décroît graduellement. Aussitôt que le contact à la terre a été établi en II, la décharge du condensateur a lieu brusquement; la courbe II montre la pointe tournée vers le bas qui correspond à cette décharge. Les deux courants s'approchent vers zéro en suivant des lois exponentielles.

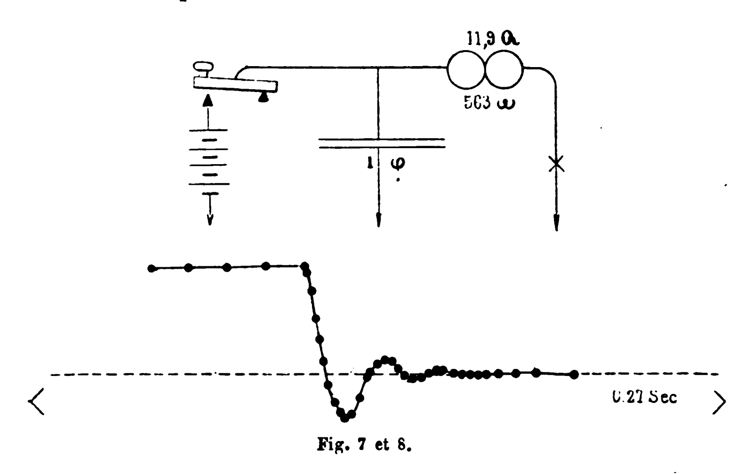


Fig. 7 et 8.

Lorsqu'il s'agit d'un circuit contenant à la fois une capacité et une self-induction, on trouve que ces deux causes agissent en sens contraire, conformément d'ailleurs à la théorie exposée dans ce recueil par M. Vaschy (*). On obtient dans certains cas des oscillations électriques dont la durée dépend de la racine carrée

(*) T. XIII, 1886, p. 322; t. XV, 1888, p. 500; t. XVIII, p. 400. V. également *Bulletin de la Société internationale des électriciens*, t. IV, 1887, p. 315.

du produit de ces deux grandeurs. Des oscillations de ce genre ont été observées souvent et leur durée peut varier dans des limites étendues.

La courbe (*fig.* 8), montre le résultat qu'on obtient par la décharge d'un condensateur d'un microfarad à travers les électro-aimants d'un appareil Morse de 563 ohms et de 11,9 quadrants; la durée d'oscillation est de 0,025 seconde; sur la figure on constate nettement que la courbe traverse cinq fois l'axe.

(*A suivre*).

SUR LA DÉTERMINATION

DE

LA CONSTANTE DIÉLECTRIQUE DU VERRE

A L'AIDE

D'OSCILLATIONS ÉLECTRIQUES TRÈS RAPIDES (*)

Les oscillations électriques très rapides, telles que les produisent les appareils de M. Hertz, ont été utilisées par M. J. Thomson pour la mesure de la constante diélectrique (*). M. J. Thomson tire de ses expériences la conclusion suivante : « Pour des oscillations au nombre de 25.000.000 par seconde, la capacité inductive spécifique du verre est très près d'être égale au carré de l'indice de réfraction et est beaucoup moindre que par des renversements plus lents. »

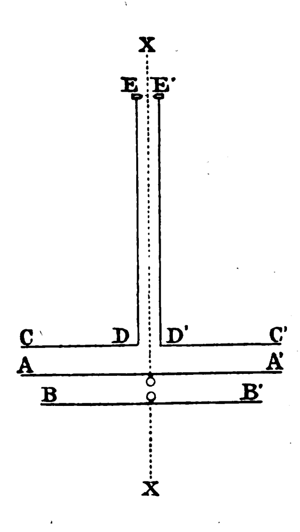
On peut objecter, contre cette conclusion, l'emploi de la formule donnant la période des oscillations, formule dont l'exactitude est douteuse dans le cas des oscillations très rapides. Plus récemment, M. E. Lecher a mesuré les constantes diélectriques de plusieurs substances à l'aide d'une méthode fondée également sur la détermination de la longueur d'onde d'oscillations très rapides, mais sans l'intervention d'aucune formule.

(*) *Comptes rendus*, 11 mai 1891, t. CXII, p. 1058. Note de M. Blondlot.

(*) J.-J. Thomson. *Capacité inductive spécifique des diélectriques quand ils sont sont soumis à l'action de forces électriques à alternatives rapides* (*Proceedings of the Royal Society*, 20 juin 1889).

Les conclusions de M. Lecher sont diamétralement opposées à celles de M. J. Thomson : « Non seulement, dit-il, la constante diélectrique, calculée à l'aide de la capacité, ne devient pas plus petite pour des oscillations très rapides, mais même elle croît notablement. »

Ces conclusions contradictoires m'ont engagé à de nouvelles recherches ; la méthode que j'ai employée repose sur l'emploi d'oscillations très rapides, mais je ne me sers d'aucune formule.



Une grande plaque rectangulaire en laiton AA′ est fixée verticalement : une seconde plaque BB′, plus petite, forme condensateur avec la première. Ce condensateur peut se décharger sur lui-même par l'intermédiaire des boules *a* et *b*; *a* est en communication avec les tuyaux de gaz, *b* avec l'un des pôles d'une bobine d'induction dont l'autre pôle communique avec les tuyaux de gaz. Lorsque la bobine fonctionne, le condensateur AB est le siège de charges et de dé-

charges oscillatoires dont la période est de l'ordre des $\frac{1}{25\,000\,000}$ de seconde.

On a ainsi, dans l'espace situé du côté de AA′ opposé à BB′, un champ électromagnétique périodique qui, c'est ici le point capital, admet XX comme plan de symétrie.

Fixons dans ce champ deux plaques carrées CD, C′D′ parallèles à AA′ et symétriques par rapport à XX, puis soudons aux milieux DD′ de leurs bords internes deux fils aboutissant en E et E′ à deux pointes de charbon à lumière maintenues en regard à une distance très petite.

Bien que la bobine fonctionne, on n'observe entre E et E′ aucune lueur : cela résulte de la symétrie de l'appareil. Interposons entre AA′ et CD une lame de verre, aussitôt des étincelles jaillissent entre E et E′; cela résulte de ce que l'induction reçue par CD est devenue plus forte que celle que reçoit C′D′.

Interposons maintenant entre AA′ et C′D′ une lame de soufre; si nous lui donnons une épaisseur telle que l'action inductrice sur C′D′ soit égale à l'action sur CD, les étincelles disparaîtront en EE′. Réciproquement, la disparition des étincelles en EE′ indiquera que les inductions transmises à CD et à C′D′ sont égales; il suffira alors de mesurer les épaisseurs des deux lames diélectriques pour déterminer par un calcul facile le rapport des constantes diélectriques du verre et du soufre. Grâce à des précautions expérimentales que je ne puis indiquer ici, j'ai pu rendre cette méthode sensible et précise.

La plaque de verre que j'ai employée a exactement 3 centimètres d'épaisseur. D'autre part, j'ai coulé deux plaques de soufre en forme de prismes de même

angle, de façon qu'en les accolant, comme dans le compensateur de Babinet, on reforme une lame à faces parallèles dont on peut faire varier l'épaisseur. J'ai trouvé $3^{cm},15$ pour l'épaisseur de la lame de soufre compensant exactement la lame de verre. Pour achever de déterminer la constante diélectrique du verre, il fallait connaître celle du souffre ; cela était facile, puisque le soufre est un diélectrique presque parfait. J'ai employé la méthode indiquée par M. J. Curie (*), et j'ai trouvé le nombre 2,94 ; on en déduit, pour la constante diélectrique du verre, le nombre $2,8 = (1,67)^2$.

Comme on le voit, ce résultat est presque identique à celui de M. J. Thomson. La loi de Maxwell n'est pas vérifiée exactement, car l'indice moyen de ma lame de verre est 1,51 environ, mais l'écart est beaucoup moins grand que celui que donnent les valeurs des constantes diélectriques obtenues à l'aide de méthodes plus lentes. Ma conclusion est la même que celle de M. J. Thomson.

(*) *Annales de chimie et de physique*, 1889.



CHRONIQUE.

Éclairage des trains.

Par M. William LANGDON (*).

Le besoin d'un meilleur éclairage des wagons de chemins de fer se fait sentir depuis longtemps. Cet éclairage, qui primitivement n'avait d'autre but que de permettre aux voyageurs d'entrer et de sortir sans accident des voitures, doit maintenant fournir une lumière suffisante pour la lecture. On s'est servi à cet effet de l'huile de colza, de l'huile de paraffine, de gaz comprimé; enfin on a cherché à tirer parti de l'électricité.

En octobre 1881, une voiture Pullmann, faisant le service entre Victoria et Brighton, fut éclairée par l'électricité, et l'essai donna des résultats tels que le système fut étendu au train tout entier; actuellement seize trains de la « Brighton Company » sont éclairés de la sorte. M. Houghton, l'électricien de la Compagnie, et, plus tard, M. Stroudley, furent les promoteurs de l'emploi de l'électricité pour l'éclairage des trains. Une expérience intéressante organisée par M. W.-H. Preece fut faite sur le « London and South-Western Railway » en 1883-84. Le mouvement du train fut utilisé pour comprimer de l'air dans une chambre, et l'air ainsi comprimé employé pour actionner une dynamo alimentant les lampes.

En juillet 1886, le « Great Northern Railway » appliqua l'éclairage électrique à l'un de ses trains métropolitains. Les lignes de Taff Vale et du Cheshire firent également des essais dans cette voie. Dans tous les cas, l'éclairage était assuré au moyen d'une dynamo actionnée par l'essieu du wagon-fourgon et de batteries d'accumulateurs placées dans ce fourgon. En août 1884, le « London and North Western Railway » essaya d'un système différent sur un petit train entre Manchester et

(*) Société des ingénieurs civils de Londres, 5 mai 1891.

Liverpool. Le courant était produit par une dynamo mue par une machine Brotherhood fixée sur le tender et recevant sa vapeur de la locomotive. Mais là encore l'éclairage était alimenté par une source unique, et, quand on venait à disjoindre le train, les wagons séparés étaient plongés dans l'obscurité. En 1888, les directeurs du « Midland Railway » autorisèrent l'équipement de deux trains faisant le service entre Londres, Manchester et Liverpool, et pour lesquels le système d'éclairage devait répondre aux conditions suivantes :

1° Chaque voiture portera l'énergie nécessaire pour son éclairage;

2° Chaque voiture devra pouvoir être attelée, dételée et retournée suivant les besoins, sans qu'il y ait possibilité d'erreur dans l'établissement des connexions;

3° Le dispositif pour l'accouplement de voiture à voiture devra pouvoir être enlevé rapidement dans le cas où des voitures seraient laissées en route;

4° La simple suppression de cette communication assurera tous les changements de communications nécessaires pour reporter les lampes du circuit général de la dynamo au circuit des accumulateurs placés sur la voiture même;

5° Chaque compartiment aura au moins deux lampes;

6° L'éclairage du train tout entier devra pouvoir être commandé de l'un quelconque des wagons-fourgons.

L'un des trains fut éclairé par des lampes placées en quantité, l'autre par des lampes en série. Le premier mode, ayant été reconnu le meilleur, fut adopté par la Compagnie, et il existe maintenant cinq trains, partant tous les jours de Saint-Pancrace, qui sont éclairés ainsi : dynamo actionnée par l'essieu du wagon-fourgon et, sur chaque voiture, accumulateurs capables de suppléer la dynamo pour cette voiture. Il existe un train local entre Manchester et Stockport qui est éclairé suivant le système adopté par M. Houghton sur la « Brighton Line », mais avec deux séries d'accumulateurs et deux dynamos. Enfin deux trains circulant entre Londres et Bedford sont éclairés par des dynamos actionnées par des petits moteurs à grande vitesse placés sur la locomotive.

Dynamos. — Dans tous les cas où l'on se sert d'accumulateurs, il est nécessaire :

a. Que la dynamo soit mise automatiquement en circuit quand est atteinte la vitesse nécessaire pour que la force électromotrice de la machine dépasse celle des batteries;

b. Que la force électromotrice reste pratiquement constante, quelle que soit la vitesse du train;

c. Que le courant circule toujours dans la même direction, quel que soit le sens du mouvement des wagons.

Les premiers trains sur le « Midland Railway » furent pourvus de machines donnant un courant pratiquement constant quel que fût le nombre de voitures desservies. Depuis, MM. Holmes et Cᵉ, de Newcastle, ont réussi à établir une dynamo qui fournit un courant proportionnel à la résistance du circuit, et ces dynamos sont en usage sur tous les principaux trains où le mouvement est pris sur l'essieu du fourgon. Des appareils automatiques répondent aux desiderata exprimés plus haut.

Accumulateurs. — Ce sont des accumulateurs du type « E P S »; le type employé sur les lignes principales, où chaque voiture porte sa propre batterie, est celui C_{15} pour les plus grandes voitures et C_{11} pour les plus petites. La tension est de 35 volts dans tous les cas, de sorte qu'il faut 18 éléments par voiture.

Accouplement électrique. — Pour les trains qui n'ont pas à être dédoublés, il n'y a pas de grosse difficulté à assurer le passage du courant d'une voiture à l'autre; mais quand les voitures doivent être séparées rapidement aux stations, l'accouplement doit être agencé de telle sorte que, tout en assurant une bonne communication électrique, il soit d'une manipulation aisée. La forme adoptée par la « Midland C° » répond d'une façon complète à ce thème. Elle assure le changement de circuit lors de la suppression de la communication de wagon à wagon, et permet de plus l'accouplement par simple manœuvre d'un commutateur. Les lampes sont de 8 bougies, et il y en a deux par compartiment, avec coupe-circuit fusible pour chaque groupe et à la jonction avec les conducteurs amenant le courant de la dynamo. Les circuits sont disposés en quantité.

En ce qui concerne l'éclairage avec dynamos placées sur la locomotive, je ne crois pas que ce système ait reçu d'autre

application que celle mentionnée plus haut. Mention doit être faite pourtant des expériences effectuées en 1884 sur le « Lancashire and Yorkshire Railway » et de celles faites la même année par M. W.-H. Massey sur le « Metropolitan District Railway ».

Sur le « Midland Railway » le personnel supplémentaire pour l'éclairage électrique se compose d'un chef d'équipe et deux ouvriers à Saint-Pancrace, un ouvrier à Nottingham, Manchester, Bradford, et trois heures par jour d'un ouvrier à Derby. Le nombre total de wagons éclairés par l'électricité, actuellement en service sur les réseaux « Brighton, Great Northern and Midland » est de 365 voitures et 57 fourgons.

En terminant, l'auteur fait ressortir que ce qu'il importe d'établir, c'est que l'éclairage électrique des trains est plus commode et moins coûteux que les autres modes d'éclairage, tout en offrant une sécurité complète. La sécurité est démontrée aujourd'hui par une expérience de plusieurs années; la commodité peut être obtenue par des dispositions convenables; enfin, quant au prix, l'auteur est d'avis que l'éclairage électrique peut soutenir avantageusement la comparaison avec les autres systèmes. La dépense de l'éclairage à l'huile est de 1/2 à 1 denier ($0^f,05$ à $0^f,10$) par lampe et par heure. Jusqu'ici le gaz comprimé n'a été employé sur une grande échelle que sur le « Metropolitan », c'est-à-dire dans un cas spécial qui ne saurait fournir une base exacte de comparaison. Quand on se sert du gaz, il faut des usines échelonnées sur la ligne aux points où les trains se forment; dans les centres, on serait probablement amené à établir ces usines à distance et à conduire le gaz aux trains par des canalisations. La dépense d'agencement des voitures pour l'éclairage au gaz varie de 4 livres 8 sh. à 7 livres par lampe (110 à 175 francs), tandis qu'avec l'éclairage électrique elle n'est que de 50 livres (1.250 francs) pour une voiture à six compartiments, ou 104 fr. par lampe, sur le « Midland Railway ». Pour les trains ne subissant pas de modifications en route, la dépense par lampe est de 90 francs, soit 450 francs par wagon à cinq compartiments. Les fourgons avec dynamos coûtent de 250 à 300 livres sterling (6.250 à 7.500 francs). Il y a tout lieu de croire que le gaz comprimé appliqué en grand entraînerait une dépense de

plus de 0f,05 par lampe et par heure, tandis que le système d'éclairage électrique, en usage sur le « Midland Railway », donne une dépense qui n'excède guère 0f,025 par lampe et par heure.

L'éclairage électrique semble donc appelé à supplanter dans un avenir rapproché les autres modes d'éclairage et à devenir d'un emploi universel pour l'éclairage des trains. Il y aurait par conséquent intérêt à se mettre dès maintenant d'accord sur les points fondamentaux suivants :

1° Système à adopter;

2° Forme et situation des couplages électriques;

3° Tension du courant.

Tant que des bases communes n'auront pas été arrêtées à cet égard, il est à craindre que la diversité des plans adoptés ne crée des difficultés pratiques. L. F.

(Traduction de l'*Électricien, revue internationale de l'électricité.*)

Les phares électriques de la Hève.

On se propose de transformer, au cours de l'année 1892, l'éclairage électrique des phares de la Hève, au Havre, qui est actuellement constitué par deux feux fixes associés de 5.000 becs carcels, intensité relativement faible.

On éteindra le feu du phare Sud et on remplacera le feu du phare Nord par un feu électrique scintillant, émettant toutes les cinq secondes des éclats blancs équidistants, précédés et suivis d'éclipses totales.

La puissance de ce nouveau feu sera environ 500 fois plus grande que celle de l'ancien. Elle dépassera de beaucoup celle qu'on a pu réaliser jusqu'à ce jour dans les phares électriques.

(*L'Électricien, revue internationale de l'électricité* 19 septembre 1891).

La télégraphie sous-marine entre l'Angleterre et l'Allemagne.

Le *Faraday*, armé par la maison Siemens frères, a terminé la pose du câble sous-marin qui relie Emden, en Allemagne, à Bacton, Angleterre. Les frais de ce nouveau câble *quadruple*, 2.400.000 francs environ, seront également supportés par les deux pays. La longueur de la ligne est de 400 kilomètres.

Le nombre de télégrammes expédiés par l'ancien câble anglo-allemand est passé de 600.000 en 1888, à 1.320.000 en 1889, lorsque la taxe a été abaissée de 40 à 20 centimes.

(*Bull. int. de l'élect.*, 21 septembre 1891.)

Le prix de l'aluminium.

La *Pittsburg Reduction Company*, de Pittsburg, et la *Compagnie Cowles*, deux compagnies américaines pour la fabrication électrolytique de l'aluminium, viennent, dit-on, de baisser le prix de ce métal au minimum de $5^f,50$ le kilogramme environ, par quantités de 1.000 kilogrammes au moins. Le gouvernement allemand aurait acheté récemment sur le marché 20.000 kilogrammes d'aluminium à ce prix, destinés à la transformation des ustensiles servant à l'alimentation des troupes : gamelles, tasses en fer-blanc, etc.

(*Bull. int. de l'élect.*, 21 septembre 1891.)

Séparation électrolytique de l'étain des rognures de fer-blanc.

Les rognures de fer-blanc sont placées dans un bain de sels quelconques d'étain, ces rognures formant l'anode, tandis qu'une plaque de charbon, de fer, de cuivre, de platine ou de tout autre métal conducteur forme la cathode. On fait passer le courant électrique dans le bain, le pôle positif étant relié aux rognures, le négatif à la cathode.

L'étain se sépare du fer et se dépose à l'état métallique à la cathode, et le fer est complètement décapé. On emploie de

préférence des bains composés : 1° de chlorure d'étain, eau et acide chlorhydrique ; 2° ou bien de chlorure d'étain, d'eau et de chlorure de sodium ; 3° de chlorure d'ammonium, de chlorure d'étain et d'eau. On place les rognures dans le bain soit dans un panier en matière isolante, le contact leur étant donné par des fils ou plaques métalliques ou de charbon, soit dans un panier formé de fils métalliques ou de baguettes de charbon mises en contact avec le pôle positif, soit enfin dans une cage d'écureuil, formée par des fils métalliques ou des baguettes de charbon à laquelle on imprime un mouvement rotatif ou alternatif, continu ou non, pour bien présenter les diverses surfaces des rognures à l'action du courant.

(*Bull. int. de l'élect.*, 21 septembre 1891.)

Les courants telluriques et les tremblements de terre.

M. Palmiéri a fait à l'occasion de la dernière éruption du Vésuve une série d'observations qu'il a présentées en ces termes à l'académie royale de Naples :

« L'année dernière, j'ai informé l'académie de deux phénomènes que j'avais eu l'occasion de noter à l'observatoire du Vésuve pendant l'éclipse solaire du 17 juin, partielle pour nous, savoir :

« 1° Une grande recrudescence de l'activité dynamique du cratère du Vésuve, recrudescence qui s'est annoncée par d'abondantes fumées émises avec force et colorées en rouge par le chlorure de fer qu'elles entraînaient en grande quantité ; — par de fortes détonations, des mugissements répétés ; — et par un grand nombre de projectiles incandescents lancés à une grande hauteur ;

« 2° L'aiguille du galvanomètre intercalé dans le circuit du courant tellurique subissait des oscillations si continuelles et si fortes qu'il a été impossible de prendre la valeur galvanométrique définitive de ce courant.

« J'ai dit que le premier de ces deux faits était conforme à une loi annoncée par moi, loi établie non seulement par mes propres observations pendant beaucoup d'années, mais par

l'étude rétrospective de toutes les grandes conflagrations du Vésuve, qui ont toujours eu lieu à la nouvelle lune ou à la pleine lune.

« Je n'ai pu donner aucune explication du second fait, et j'ai attendu l'occasion de voir s'il se répéterait en pareil cas.

« Or, pendant l'éclipse du 7 juin de cette année, il s'est également produit dans l'après-midi une phase éruptive assez marquée, et les mêmes mouvements oscillatoires de l'aiguille du nouvel instrument substitué à l'ancien galvanomètre se sont répétés exactement de la même manière. On ne pourrait donc prétendre qu'il n'y a là qu'une coïncidence fortuite.

(*Bull. int. de l'élect.*, 5 octobre 1891.)

BIBLIOGRAPHIE

Nomographie. Les calculs usuels effectués au moyen des abaques; par M. Maurice d'Ocagne, ingénieur des ponts et chaussées. Gauthier-Villars et fils, éditeurs.

Une abaque est une construction géométrique traduisant la loi qui unit un certain nombre de quantités simultanément variables, de façon à permettre par une simple lecture, étant données des valeurs particulières pour toutes ces quantités, sauf une, d'avoir la ou les valeurs correspondantes de celle-ci. Dans tous les cas où une telle construction est possible, elle simplifie considérablement les calculs les plus compliqués. M. d'Ocagne a rendu un véritable service à tous ceux qui peuvent avoir à répéter un grand nombre de fois un calcul de même forme. Dans sa nomographie il expose les principes généraux de la science des abaques et les méthodes actuellement connues permettant de représenter graphiquement des équations à un nombre quelconque de variables. Un grand nombre d'exemples pratiques accompagnent cet exposé et font comprendre tout l'intérêt que présentent ces méthodes pour les calculateurs et les ingénieurs.

TABLE DES MATIÈRES.

TOME XVIII. — ANNÉE 1891.

Numéro de Janvier-Février.

Numéro de Mars-Avril.

Numéro de Mai-Juin.

Numéro de Septembre-Octobre.

Numéro de Novembre-Décembre.

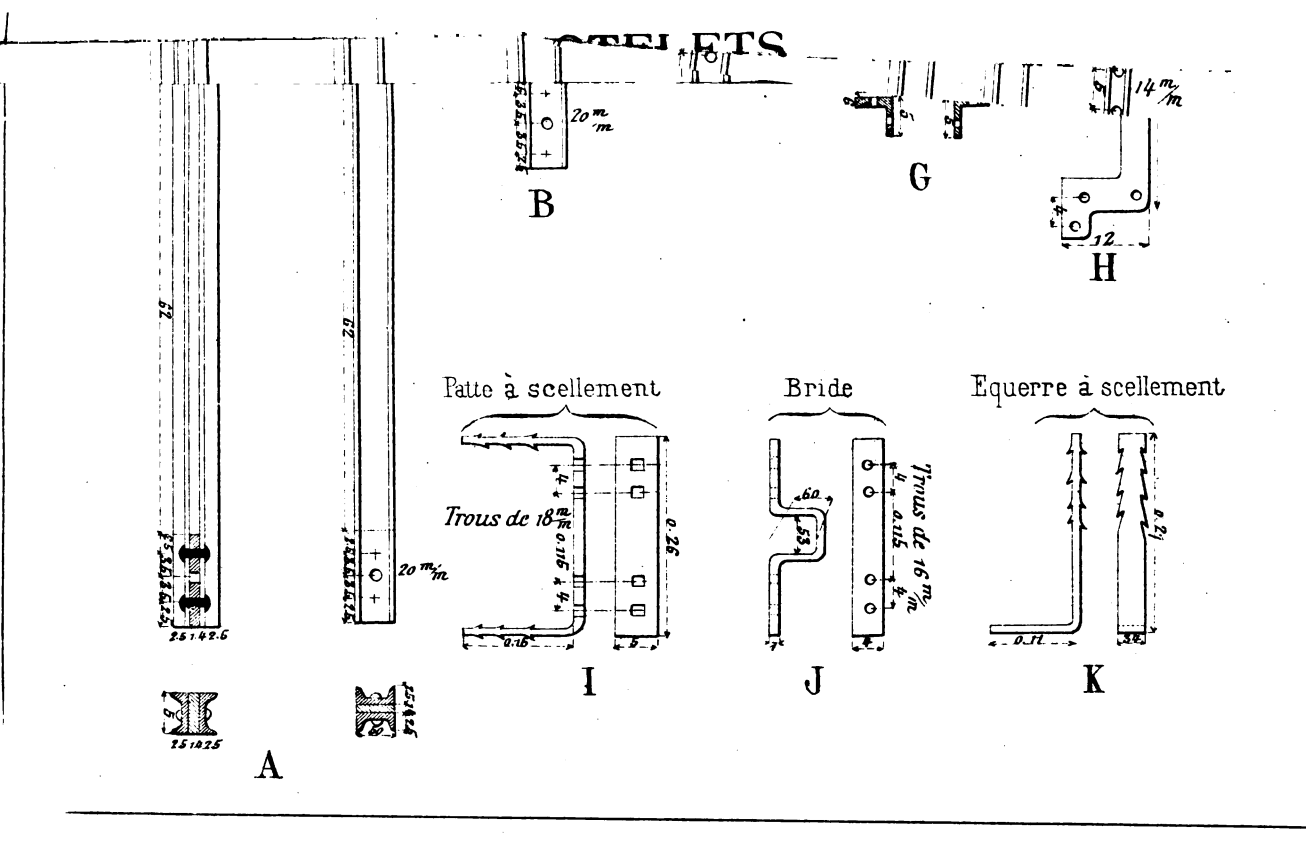
TABLE ALPHABÉTIQUE ET SIGNALÉTIQUE

DES MATIÈRES.

TOME XVIII. — ANNÉE 1891.

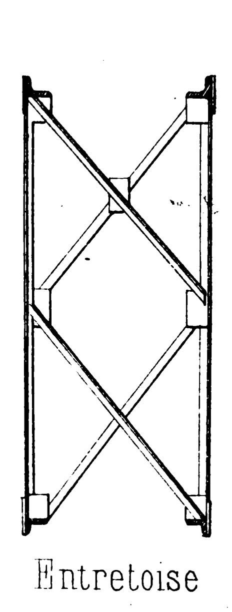
FIN DES TABLES.

Gérant : Vᵉ DUNOD. — IMPR. C. MARPON ET E. FLAMMARION, RUE RACINE, 26.



Auto-Imp. L. Courtier, 43, rue de Dunkc





Entretoise

Auto-Imp. L. Courtier, 43, rue de Dunkerque, Paris.



A LA MÊME LIBRAIRIE

REVUE DE GÉOLOGIE pour les années 1860 à 1869, par MM. Delesse, Laugel et de Lapparent, ingénieurs des mines. 8 vol. in-8 . . . . . 40 fr.

ANNALES DES MINES. Recueil de mémoires sur la géologie, l'exploitation des mines, etc., publiés par les ingénieurs des mines sous les auspices du ministère des travaux publics. Années 1862 à 1871 . . . . . 200 fr.

Les années 1816 à 1831 sont introuvables. — Les années 1832 à 1861 sont rares. — Les années 1872 à 1891 et l'abonnement pour 1892, 20 fr. pour Paris, 24 fr. pour les départements.

BULLETIN DE LA SOCIÉTÉ DE L'INDUSTRIE MINÉRALE DE SAINT-ÉTIENNE. Publication technique et statistique sur l'industrie des mines. — Tomes I à IV et XII à XV, 1re série, et I et II, 2e série . . . . . 250 fr.

NOUVEAUX OUVRAGES

DEBAUVE. Cours de géologie et de minéralogie (Extrait du *Manuel de l'ingénieur des ponts et chaussées*). 1 beau volume grand in-8 avec vignettes et planche . . . . . 10 »

SMITH MAURICE. De la houille et de son exploitation. In-8 avec nombr. vign., relié . . . . . 15 »

MOISSENET. Parties riches des filons du Cornouailles. In-8 et atlas . . . . . 15 »

MEUNIER. Cours élémentaire de géologie. In-8 relié . . . . . 10 »

MEUNIER. Géologie régionale de la France. 1 fort vol. grand in-8 . . . . . 17 50

CORNWALL THOULET. Traité du chalumeau. Grand in-8 relié, avec vignettes . . . . . 25 »

BOUTAN & D'ALMEIDA. Cours de physique. 5e édition. 2 vol. in-8 . . . . . 25 »

DEBRAY. Cours élémentaire de chimie. 4e édition. 2 vol. grand in-8 . . . . . 25 »

KNAPP. Chimie industrielle. Les deux premiers volumes . . . . . 50 »

OLIVIER ROUCHÉ. Cours de géométrie descriptive. 2 vol. in-4 et 2 atlas . . . . . 22 »

OUVRAGES SUR LA GÉOLOGIE ET SUR LA MINÉRALOGIE

Adam. Tableaux minéralogiques. In-4 oblong . . . . . 10 »

Atlas du mineur, exécuté à l'École des mines de 1838 à 1842. 121 planches avec texte . . . . . 74 »

Belgrand. La Seine. 5 vol. in-4 . . . . . 245 »

Boucheporn. Histoire de la terre. In-8 . . . . . 7 50

Carte géologique *de France* en 6 flles 167 50

— explication des 2 premiers vol. 33 75

— réduction en 1 feuille . . . . . 5 »

— *du Cantal.* 1 feuille . . . . . 10 »

— *du Cher.* 3 feuilles . . . . . 40 »

— *de la Haute-Marne.* 4 feuilles . . . . . 60 »

— Études stratigraphiques, par MM. Élie de Beaumont et de Chancourtois. In-4 . . . . . 5 »

— *du Haut-Rhin.* 1 carte, 4 coupes et 2 volumes d'explication, par MM. Delbos et Kœcklin . . . . . 30 »

— *de la Seine.* 4 feuilles . . . . . 20 »

— *du Var* et des autres parties de la Provence. 1 carte et coupe . . . . . 15 »

— *de Russie* (extrait des *Chemins de fer russes*), par M. Collignon . . . . . 5 »

De Chancourtois. Stratigraphie du département de la Haute-Marne. In-4 . . . . . 5 »

Gras (Sc.). Stratigraphie des Alpes. In-8 . . . . . 3 »

Guillemin. Géologie de Madagascar. In-8, 2 pl. 3 50

Daubrée. Substances minérales. In-8 . . . . . 5 »

Delesse. De l'azote et des matières organiques de l'écorce terrestre. In-8 . . . . . 5 »

Des Cloizeaux. Minéralogie, t. I. et 1er fasc. du t. 2 . . . . . 30 »

Des Cloizeaux. Emploi du microscope polarisant. In-8 . . . . . 4 »

Domeyko. Géologie du Chili. In-8, pl. . . . . . 4 »

Dorlhac. Géologie de la Lozère. In-8 et pl. 4 50

Dubocq. Géologie des Ziban (Algérie). In-8 . . . . . 4 »

Dufrénoy. Terrains de transition de l'ouest de la France. In-8 . . . . . 4 »

Élie de Beaumont. Poids des différents cercles du réseau pentagonal. In-8 . . . . . 0 75

Fournel. Révolutions successives des monts Dores. In-8 . . . . . 2 »

Fusch. Gîtes de fer de Norvège. In-8, pl. 2 50

— Gisements des vallées Trompea. In-8, pl. 2 50

— Gisement de potasse de Stassfurt-Anhalt. In-8 et pl. . . . . . 4 »

Garnier. Géologie de l'Océanie. — Ile Tahiti. In-8 et pl. . . . . . 3 »

— Géologie de la Nouvelle-Calédonie. In-8 et planche coloriée . . . . . 5 »

De Hempel. Géologie de Kielce. — Chencing. — Malogossez (Pologne). In-8 et carte . . . . . 3 »

Héron de Villefosse. Atlas de la richesse minérale. 65 pl. avec explication in-plano . . . . . 50 »

Jacquot. Géologie de la Serrana de Cuenca (Espagne). In-8 et pl. 4 50

Lagarde. Mines de la province de Cordoue. In-8 et pl. . . . . . 3 »

De Lapparent. Géologie du Tyrol. In-8 . . . . . 3 »

Laur. Gisement de l'or en Californie. In-8 et 6 pl. . . . . . 10 »

Lévy et Choulette. Filon de Przibram. In-8 et pl. 4 50

Mussy. Mines de Rancié (Ariège). In-8 et pl. . . . . . 10 »

Paillette. Gîtes métallifères de Calabre et de Sicile. In-8 et pl. . . . . . 3 »

Pouyanne. Réseau pentagonal. In-8 et planches 2 50

Rivot. Mines de Vialas. In-8 et pl. 7 50

Ville. Gîtes minéraux de l'Algérie. In-8 . . . . . 2 50

Ville et Vatonne. Sondages et sources minérales d'Algérie. 4 broch. in-8 . . . . . 13 75

PARIS. — IMP. C. MARPON ET E. FLAMMARION, RUE RACINE, 26.

